VISIT…

LANZAROTE Caliente.COM

станки, которые встраиваются в линии в порядке операций технологического процесса обработки деталей. На этих станках производятся операции отрезки, прорезки канавок, снятия фасок и др.

Станки автоматических линий снабжаются загрузочными приспособлениями, а также транспортирующими и зажимными устройствами, с помощью которых обрабатываемые детали перемещаются с одной позиции на другую и закрепляются. Отдельные станки и механические узлы, составляющие автоматическую линию, объединяются в единую систему с помощью электроавтоматики. Таким образом, обрабатываемые детали автоматически транспортируются вдоль линии станков и постепенно проходят все операции механической обработки.

Для передачи заготовок от станка к станку на автоматических линиях применяют разного рода транспортирующие средства. Простейшими транспортными устройствами являются лотки, склизы, трубки, по которым заготовки передвигаются под действием силы тяжести или инерции, как, например, в линиях для обработки шарикоподшипников. Более крупные заготовки передвигаются принудительно, посредством различных транспортеров: шаговых с собачками, цепных барабанных и др.

По способу осуществления транспортных устройств различают *автоматические линии с жесткими и гибкими межагрегатными (транспортными) связями.* При жесткой связи автоматическое перемещение обрабатываемых изделий от одной позиции к другой производится общим транспортным устройством с точно установленным шагом и паузой, которая зависит от наиболее длительного времени цикла обработки изделия на одной из рабочих позиций линии, а шаг определяется расстоянием между позициями. Достоинством линий с жесткой транспортной связью является сравнительно короткое время прохождения обрабатываемого изделия с позиции на позицию, а недостатком — прекращение работы всей линии при неисправности какого-либо устройства.

На рис. 13-1 показана схема механизмов небольшой автоматической линии с жесткой межагрегатной связью между станками. С загрузочной позиции *1* шагающим транспортером *2* изделия перемещаются к станкам *4*, которые производят обработку. Заканчивается линия разгрузочной позицией *5*. Имеется на линии еще поворотное устройство *3* (поворотный стол, кантователь), которым осуществляется поворот детали на 90 и 180° во время обработки остальных деталей на позициях.

При гибкой транспортной связи каждый станок работает в собственном ритме, а транспортные устройства между станками выполняются в виде лотков, непрерывно движущихся транспортеров и т. п. На рис. 13-2 показана схема автоматической линии, состоящей из трех станков, соединенных транспортирующими устройствами, и двух межоперационных бункеров-накопителей. Из элеватора *1* через лоток обрабатываемые изделия подаются к станку *3*, далее транс-

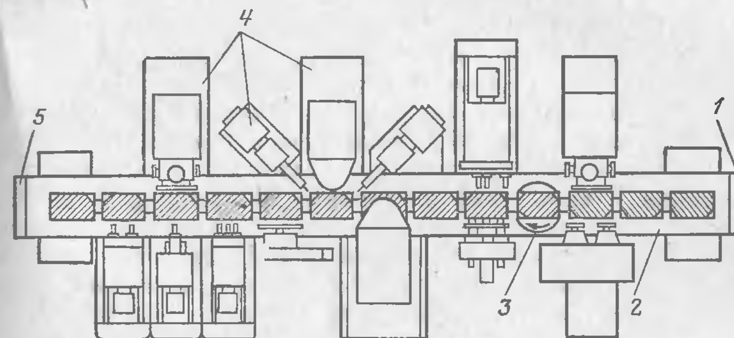


Рис. 13-1. Автоматическая линия с жесткой транспортной связью.

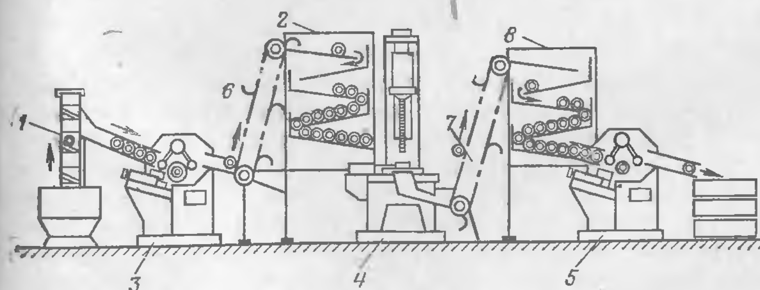


Рис. 13-2. Автоматическая линия с гибкой транспортной связью.

портером *6* перемещаются в бункер-накопитель *2*, откуда поступают на станок *4*. Затем транспортер *7* направляет их в бункер *8*, из которого изделия подаются на станок *5*. Наличие бункеров-накопителей позволяет продолжать работать станкам, расположенным после них, при остановке станков перед ними.

Кроме металлорежущих станков и транспортных устройств в состав автоматических линий в зависимости от их назначения могут входить следующие агрегаты: фиксирующие и зажимные устройства, контрольные и сортировочные автоматы, агрегаты для сварки, упаковочные агрегаты и т. д.

В электромашиностроении автоматические линии применяются для обработки валов, станин, подшипниковых щитов, для пропитки статоров и роторов, для сборки и испытания электрических машин. В данной отрасли автоматические линии были впервые применены для обработки двигателей единой серии А и АО 6-го и 7-го габаритов. На рис. 13-3 показана автоматическая линия для изготовления коллекторных пластин. Медные полосы укладываются в загрузочное устройство *8*, из которого механизм подачи *7* толкает полосу *6* в пресс на шаг, равный длине коллекторной пластины. На чеканочном прессе *5* производится правка полосы, вырубка контура пластины и отрубка ее от полосы. Отрубленная пластина при помощи передающего механизма *4* подается на транспортер *1*, который перемещает ее к горизонтально-фрезерному станку *2*. На станке производится фрезерование шлица в петушке коллекторной пластины. При этом установка пластины в тиски станка, выем обработанной детали с последующей установкой в зажим транспортера производится при помощи робота-манипулятора. Далее в ванне *12* пластина покрывается флюсом, а в ванне *11* производится лужение шлица. Готовые пластины освобождаются толкателем *9* из зажимов *3* и падают в бункер. Электроимпульсный счетчик *10* показывает количество обработанных пластин. Продолжительность цикла линии 7 с.

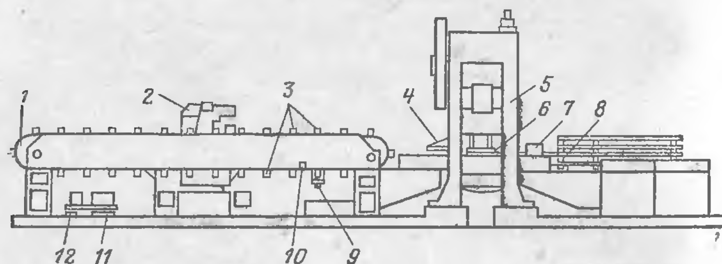


Рис. 13-3. Автоматическая линия изготовления коллекторных пластин.

13-2. ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ СХЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ

Управление работой агрегатов автоматической линии производится средствами релейно-контактной или бесконтактной электроавтоматики. Это позволяет достаточно просто объединить в единую систему производственные машины, расположенные на значительном расстоянии и различно ориентированные относительно друг друга. Такое объединение посредством механического или гидравлического управления обычно оказывается более сложным или невозможным.

Управление автоматическими линиями в основном сводится к управлению поступательными и вращательными перемещениями подвижных элементов станков, транспортеров и других узлов, происходящими в определенной последовательности. В задачу системы управления входит согласование действий отдельных агрегатов линии, выполняемое, как правило, средствами электроавтоматики. Четкая и надежная работа всех механизмов автоматической линии возможна только при хорошо продуманной системе управления и при использовании высококачественного оборудования.

Для создания возвратно-поступательных движений на автоматических линиях применяется обычно гидропривод. Для получения вращательных движений, связанных с обработкой деталей, в автоматических линиях используются короткозамкнутые асинхронные двигатели.

Электрическая система управления автоматической линией должна обеспечить: 1) централизацию управления и контроля; 2) заданную последовательность движений механизмов; 3) возможность переналадки при изменении технологического процесса; 4) работу

линии в автоматическом, полуавтоматическом и наладочном режимах; 5) возможность широкого использования компактных слаботочных электроаппаратов, стандартных блоков и узлов питания.

В качестве основного принципа для построения схем управления автоматическими станочными линиями применяется управление в функции пути. Такое управление позволяет в любой момент контролировать взаимное положение деталей и инструмента и является наиболее надежным. Оно строится обычно так, чтобы команда на последующие действия подавалась тогда, когда предыдущее действие уже закончено. Отдельные станки или силовые головки линии работают по определенному замкнутому циклу управления. При управлении в функции пути подача команд на начало последующих операций производится с помощью путевых переключателей. Воздействие на переключатели осуществляется различными упорами или кулачками, которые устанавливаются на подвижных органах станков. У транспортных устройств подачу команды иногда осуществляет деталь, коммутируя посредством путевых выключателей или иных датчиков положения (пути) либо непосредственно замыкая ту или иную цепь управления.

В некоторых случаях на автоматических линиях используются и другие принципы управления — принципы нагрузки, времени, скорости и размеров обрабатываемых деталей. Управление в функции нагрузки применяется там, где необходимо контролировать усилия, возникающие после завершения движений, например в зажимных устройствах. Датчиками усилия в этом случае служат токовые реле или реле давления. Управление в функции времени необходимо в тех случаях, когда работа тех или иных агрегатов линии происходит без подачи инструмента, например при зачистных операциях, закалке деталей и др. Датчиками здесь являются различные реле времени. Управление в функции скорости применяется при электрическом торможении электроприводов, и датчиками служат реле контроля скорости. Управление в функции размеров обрабатываемых деталей (активный контроль) все больше применяется в новейших автоматических линиях, так как позволяет непосредственно контролировать ход технологических

операций и осуществлять автоматическую подналадку станков.

В линиях с гибкими транспортными связями электрические схемы управления связывают между собой только смежные станки и транспортные участки между ними. В этом случае каждый станок электрически блокируется с транспортными участками, расположенными до и после данного станка; в свою очередь каждый транспортный участок блокируется со станками, находящимися по обеим сторонам этого участка. Работа станков и механизмов линии происходит не в жестком ритме. Ритм каждого станка определяется продолжительностью операций, выполняемых на нем, а бесперебойная работа всех станков линии обеспечивается благодаря накоплению деталей на транспортных участках или в промежуточных бункерах.

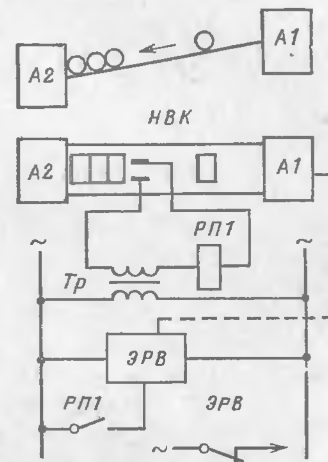


Рис. 13-4. Схема автоматизации участка линии с гибкой транспортной связью.

На рис. 13-4 приведена простейшая схема автоматизации межагрегатного транспортного участка линии с гибкой связью. Агрегаты *A1* и *A2* соединены между собой наклонным склизом, на котором могут создаваться межоперационные заделы. Во время нормальной работы агрегатов деталь, двигаясь по склизу от агрегата *A1* к агрегату *A2*, замыкает контакты низкого напряжения *НВК* (вместо *НВК* может быть установлен, например, фотодатчик). Включается реле *РП1*, которое управляет электронным реле времени *ЭРВ*. Но так как деталь уходит с *НВК*, то реле *РП1* отключается, и реле *РВ* не успевает сработать. Если же агрегат *A2* остановится, то склиз будет заполняться, контакты *НВК* останутся замкнутыми, реле *ЭРВ* сработает, его размыкающий контакт отключит цепь управления агрегата *A1*, и тот также остановится. При возобновлении работы агрегата *A2* контакты *НВК* освободятся, и агрегат *A1*

вновь может быть пущен в работу (автоматически или оператором).

Станки линии с жесткой транспортной связью работают в едином ритме. Поэтому между отдельными станками, транспортерами и зажимными механизмами линии должны существовать взаимные связи и блокировки, которые обеспечивали бы четкое взаимодействие всех механизмов в определенной последовательности и правильность выполнения команд. Промежуток времени между подачей двух соседних команд называется **тактом линии**. За время такта производится одна операция по обработке или транспортировке деталей. Совокупность тактов, необходимых для обработки детали, называется **циклом линии**.

На практике широкое распространение получил цикл, состоящий из следующих пяти основных тактов: 1) перемещения находящихся на линии деталей транспортером на последующие позиции, при этом новая деталь перемещается с загрузочной на первую рабочую позицию, а обработанная деталь снимается с последней позиции; 2) фиксации деталей и их зажима; 3) ускоренного подвода всех силовых головок (шпиндельных бабок, суппортов и т. п.) с режущими инструментами с последующим переключением на рабочую подачу и обработка деталей; 4) быстрого отвода в исходное положение по окончании обработки (каждой головки независимо от остальных); 5) расфиксации и освобождения (отжима) всех деталей.

Различают следующие режимы работы линий: 1) автоматический режим с непрерывным повторением циклов; 2) полуавтоматический режим работы одиночными циклами; 3) специальные или частные режимы с исключением из автоматической работы отдельных станков; 4) наладочный режим. Переход на тот или иной режим работы производится переключателями схемы управления, которые устанавливаются на центральном пульте.

При автоматическом режиме оператор дает команду на первый цикл, т. е. пускает линию, а затем циклы повторяются автоматически. Такой режим характерен для случая автоматической загрузки деталей на линию и снятия их с линии, хотя возможен и при ручном выполнении этих операций, если продолжительность цикла линии достаточна для их осуществления.

На рис. 13-5,*а* показана схема управления пуском линии на автоматическую работу, во время которой контакты *ПР-1* и *ПР-2* переключателя режимов работы линии *ПР* замкнуты. Все механизмы линии при пуске должны находиться в исходном положении, поэтому реле *РИЛ* включено, и его контакт замкнут (в цепь катушки реле *РИЛ*, не показанной на схеме, включены контакты датчиков исходных положений всех станков). Замкнуты контакты переключателей режимов работы станков *1ПР*, *2ПР* и реле контроля *РК1* и *РК2*, а также включены контакторы *К1* и *К2* постоянно работающих двигателей аг-

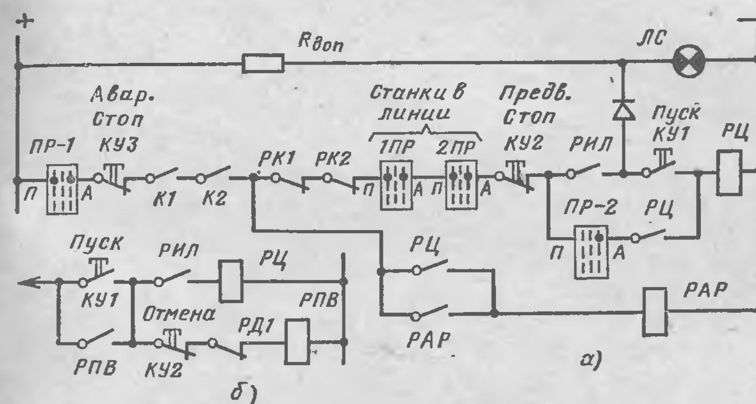


Рис. 13-5. Схема управления пуском и остановкой линии.

регатов — гидронасосов, насосов охлаждения и смазки, вращения инструментов и др. При выполнении перечисленных выше условий горит сигнальная лампа *ЛС*. Нажатием кнопки *Пуск КУ1* включается реле цикла *РЦ* и подается команда (на схеме это не показано) на пуск транспортера. Получает питание реле автоматической работы *РАР*, которое предназначено для устранения возможности самовключения механизмов линии при подаче напряжения на схему управления. После начала цикла контакты *РИЛ* размыкаются, лампа *ЛС* гаснет. По окончании цикла, когда линия приходит в исходное положение, снова включается реле *РИЛ*, и поскольку реле *РЦ* остается включенным, то образуется посредством *РИЛ* и *РЦ* команда (на схеме этого не показано) на повторный пуск транспортера, т. е. на начало нового цикла и т. д.

Если загрузка деталей на линию производится вручную, то применяется **полуавтоматический режим работы**, при котором для повторения цикла

оператору нужно подать команду. В этом случае контакт *ПР-2* разомкнут. Пуск линии производится оператором каждый раз после загрузки детали и окончания цикла линии нажатием кнопки *Пуск КУ1*. Для уменьшения непроизводительного времени и для облегчения труда оператора при полуавтоматическом режиме вводят запоминание команды на пуск линии, так называемый предварительный пуск линии, например по схеме на рис. 13-5,*б*. Рабочий, произведя загрузку детали и не дожидаясь окончания цикла, нажимает кнопку *Пуск КУ1*. При этом включается и становится на самопитание реле *РПВ*. После окончания цикла работы линии включается реле исходного положения *РИЛ*, затем получает питание реле *РЦ*, и цикл работы повторяется. Во время отработки одного из первых движений на линии контактом реле *РД1* отключается реле *РВП* (затем контакт *РД1* вновь замыкается). Отмена команды на автоматический выпуск линии производится нажатием кнопки *КУ2*.

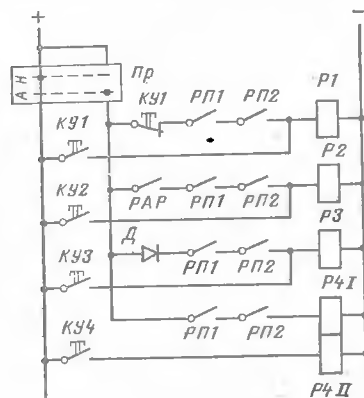


Рис. 13-6. Схема переключения режимов работы автоматической линии.

В наладочном режиме все механизмы линии управляются от отдельных кнопок или переключателей и работают в толчковом режиме. Этот режим применяется при наладке линий, регулировке срабатывания датчиков, смене и настройке режущих инструментов и др. Кроме того, с помощью наладочных кнопок приводятся в исходное положение все механизмы линии после аварийных остановок для дальнейшего возобновления автоматической работы линии.

На рис. 13-6 показана схема переключения режимов работы автоматической линии. Переход из одного режима в другой производится переключателем режимов *ПР*. При этом аппараты управления в наладочном режиме получают питание от отдельной цепи через толчковые

кнопки *КУ1—КУ4*. Каждая толчковая кнопка управляет включением только одной исполнительной цепи *Р1*, *Р2* и т. д. Для того чтобы избежать возникновения ложных цепей при замыкании контактов *РП1* и *РП2*, что привело бы к одновременному включению различных исполнительных аппаратов, можно использовать: а) размыкающий контакт наладочной кнопки *КУ1* (показано в цепи реле *Р1*); *б*) контакты отдельных реле автоматической работы *РАР* (цепь *Р2*); *в*) диодную развязку (цепь реле *Р3*); г) двухобмоточные реле (реле *Р4*).

С п е ц и а л ь н ы е р е ж и м ы р а б о т ы автоматических линий применяют при выходе одного или нескольких станков линии из строя. В таких случаях линия может продолжать работать в автоматическом режиме, а пропущенные операции выполняются на отдельных станках.

В схеме управления должны быть предусмотрены два вида выполнения останова линии: п р е д в а р и т е л ь н ы й о с т а н о в, при котором отключение линии происходит после окончания цикла (для автоматического режима работы линии), и а в а р и й н ы й, вызывающий немедленную остановку агрегатов линии на любом этапе ее работы (см. рис. 13-5,*а*). Предварительный останов осуществляется нажатием кнопки *КУ2*. При этом отключается реле *РЦ*, и после отработки цикла линия останавливается. Аварийный останов производится кнопкой *КУ3*. В этом случае теряет питание также реле автоматической работы *РАР*, и отключаются все аппараты связи. Повторный автоматический пуск возможен лишь после того, как все механизмы линии будут приведены в исходное положение.

13-3. ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Электрооборудование автоматических линий состоит из большого количества двигателей, электромагнитов, контакторов и магнитных пускателей, кнопок и переключателей управления, путевых выключателей, различных реле: времени, контроля давления и скорости, блокировочных, промежуточных и др. Перечисленные элементы электрооборудования устанавливаются на станках для их привода и обеспечения различных технологических операций и вне станков для приведения в действие транспортных устройств, для переключения станков с одного режима на другой и т. п. Для четкой и беспе-

ребойной работы всех механизмов автоматической линии необходимо, чтобы электрические двигатели и аппараты были надежны и имели большой срок службы. Рассмотрим технические особенности современного электрооборудования, специально спроектированного применительно к условиям монтажа и эксплуатации автоматических станочных линий.

Электродвигатели. В автоматических линиях главным образом применяются асинхронные короткозамкнутые двигатели защищенного и закрытого обдуваемого исполнения мощностью от 0,6 до 40 кВт, которые непосредственно включаются в силовую сеть с помощью контакторов. В некоторых случаях используются многоскоростные асинхронные двигатели. Двигатели постоянного тока применяются редко, так как обычно приводы станков линий не требуют плавного регулирования скорости. С освоением выпуска асинхронных двигателей новой серии 4А появилась возможность применять в станках автоматических линий встраиваемые двигатели типа 4АВ и двигатели типа 4АЕ со встроенным электромагнитным тормозом.

Электромагниты. В схемах управления линиями электромагниты толкающего или тянущего действия предназначаются для осуществления быстрых прямолинейный перемещений элементов гидро- и пневмооборудования (гидрозолотников, тормозных колодок и т. д.). Широкое распространение получили: 1) однофазные длинноходовые электромагниты управления серии ЭД переменного тока с втягивающими катушками на $U_{ном}$=110, 127, 220, 380 и 500 В, имеют длину хода якоря от 10 до 40 мм, развивают усилие от 4 до 250 Н, выпускаются десяти типоразмеров (ЭД02, ЭД03, ..., ЭД11); 2) однофазные короткоходовые электромагниты управления серии МТ рассчитаны для включения в цепь переменного тока напряжением от 36 до 500 В, имеют длину хода якоря от 5 до 15 мм, развивают усилие от 4 до 150 Н, серия состоит из восьми типоразмеров (МТ22, МТ32, ..., МТ92); 3) короткоходовые электромагниты управления постоянного тока серии ЭУ рассчитаны для включения на $U_{ном}$=12, 24 и 48 В, с ходом якоря от 5 до 15 мм и тяговым усилием от 4 до 100 Н, серия состоит из восьми габаритов (ЭУ20, ЭУ30, ..., ЭУ90). Все указанные типы электромагнитов предназначены для работы с ПВ=100%, но допускают работу в режиме ПВ=40%.

Выпускаются электромагниты с ПВ=15% при продолжительности одного цикла не более 10 мин.

В связи с внедрением в схемах управления линиями малогабаритной аппаратуры проводной связи более целесообразным является использование электромагнитов постоянного тока, которые имеют ряд преимуществ: исключается гудение магнитной системы, отсутствуют пусковые токи и перегрев катушек при неполном втягивании якоря, отличаются более высокой надежностью и долговечностью.

Кнопки управления. В автоматических линиях они служат для выдачи команд на включение или отключение различных электрических аппаратов, получения кратковременных команд при работе станков в наладочном режиме. Для легкого доступа к аварийным кнопкам они выполняются с нажимными штифтами в виде «грибка». Все кнопки управления, используемые в автоматической линии, должны иметь поясняющие надписи над нажимным штифтами, например: ПУСК, СТОП, ЗАЖИМ, ОТЖИМ, ВПЕРЕД, НАЗАД и т. д. Промышленность выпускает кнопки серии КЕ и кнопочные посты управления серии ПКЕ. Указанные аппараты допускают коммутацию в электрических цепях управления напряжением до 500 В переменного тока и до 220 В постоянного тока при номинальном токе 6 А.

Путевые и конечные выключатели широко применяются в линиях для контроля различных перемещений в станках и транспортных устройствах, для подачи команд на загрузку и разгрузку станков и выдачи команд управления с перемещающихся механизмов. Путевые выключатели обычно устанавливают на неподвижных узлах станков или механизмов, а воздействие на их штифт или рычаг осуществляется движущимся упором механизма, когда он достигает определенной точки пути. При перемещении штока (рычага) происходит переключение контактов, а после отхода упора пружина возвращает контактную систему в исходное положение.

Промышленность выпускает контактные выключатели серии ВПК-2000 на две цепи и ВПК-4000 на три и четыре цепи с размыкающими и замыкающими контактами мостикового типа, способных коммутировать электрические цепи управления переменного тока напряжением до 500 В при $I_{ном} \leqslant 6$ А и постоянного тока напряжением 220 В при $I_{ном} < 4$ А. Каждая из серий состоит из девяти

типоисполнений, отличающихся по роду защиты от воздействия окружающей среды и виду приводного элемента.

Помимо указанных переключателей в станкостроении широкое распространение получили микропереключатели серий МП-1000 и МП-2000, отличающиеся высокой коммутационной способностью при небольших габаритах ($I_{ном}$=4 А при 500 В переменного тока и $I_{ном}$=2,5 А при 220 В постоянного тока), высокой износостойкостью и надежностью в работе (до 10 млн. механических включений и до 1,6 млн. коммутаций), различным исполнением по способу присоединения проводов. Микропереключатели могут устанавливаться на подвижных и неподвижных частях станков.

В настоящее время для автоматических линий находят все большее применение бесконтактные путевые выключатели (см. ниже) типов БВК-24, БСП-11 и другие, у которых отсутствуют подвижные контактные элементы, что значительно уменьшает износ, увеличивает срок службы выключателя и позволяет ему работать при больших скоростях переключения.

Командоаппараты (переключатели управления) в автоматических линиях предназначаются для переключений в цепях управления при выборе режимов работы и для непосредственного включения различных маломощных токоприемников (приводных механизмов, электромагнитных муфт и др.) в наладочных режимах. Различают переключатели управления с перекидными ручками — тумблеры и крестовые переключатели и с вращающимися рукоятками типа УП-5100. Последние позволяют коммутировать большое количество электрических цепей, одновременно заменяя воздействие на несколько кнопок в различных комбинациях. В настоящее время выпускаются пакетно-кулачковые переключатели серии ПКУ2, представляющие собой пакет однотипных пластмассовых секций с контактной системой каждая. Подвижные контакты секций приводятся в действие кулачками, насаженными на общий вал. Число коммутируемых цепей до 12, число коммутационных положений рукоятки 4. Номинальный ток переключателя 6 А при напряжении 500 В переменного тока и до 220 В постоянного тока.

Бесконтактные логические элементы. С ростом производительности агрегатных станков и автоматических линий возрастает число контакто-срабатываний в час и

частота включений, увеличивается механический и электрический износ релейно-контактных аппаратов, что ограничивает их надежность. Кроме того, все контактные аппараты нуждаются в систематическом надзоре и регулировке. Неисправность аппаратуры приводит к дорогостоящему простою линии, иногда к длительному, так как часто бывает трудно обнаружить такую неисправность.

В последние годы в схемах электроавтоматики станков стали применяться бесконтактные электрические аппараты, у которых нет движущихся частей и контактов, поэтому они имеют больший срок службы, который не зависит от нагрузки. Указанные элементы не требуют регулировки и постоянного надзора в процессе эксплуатации.

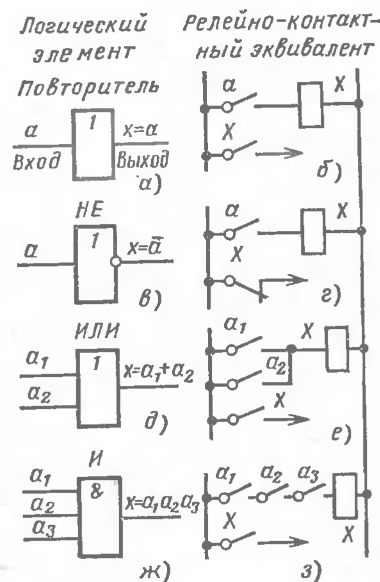


Рис. 13-7. Основные логические элементы и их релейные эквиваленты.

Отечественная промышленность выпускает различные бесконтактные аппараты (магнитные и полупроводниковые реле, путевые переключатели и др.), которые подобно релейно-контактным аппаратам могут находиться в одном из двух противоположных состояний *Включено* или *Выключено*, что соответствует логическим понятиям ДА или НЕТ. При таком представлении работы реле состояния их входных и выходных цепей удобно описывать цифрами 1 и 0. Для контактных реле цифра 1 означает, что данная цепь замкнута (сигнал равен единице), цифра 0 — цепь разомкнута (сигнал равен 0). Аналогично, если какой-либо контакт замкнут, его состояние характеризуется цифрой 1, если разомкнут — цифрой 0.

Для бесконтактных аппаратов и элементов наличие напряжения на входе или выходе указывается цифрой 1, а отсутствие его — цифрой 0.

Бесконтактные устройства, применяемые для реализации логических функций в системах управления, называют бесконтактными логическими элементами (БЛЭ). Эти элементы получают наименование по выполняемым ими логическим функциям. Элемент, у которого при подаче сигнала a на вход появляется сигнал $x=a$ на выходе, называется повторителем (рис. 13-7, *а*). Такой ЛЭ служит в схеме управления для задержки на такт управляющего сигнала. Действие повторителя аналогично включению реле X контактом a в релейной схеме (рис. 13-7, *б*).

Если при подаче сигнала a на вход ЛЭ сигнал x на его выходе исчезает, то такой ЛЭ называют инвертором или элементом НЕ. Его логическую функцию в этом случае обозначают $x=\bar{a}$, где черточка над буквой a обозначает операцию отрицания (инверсии). Условное обозначение элемента НЕ и эквивалентная ему релейно-контактная схема показаны на рис. 13-7, *в* и *г*.

Логические элементы могут иметь несколько входов: два, три и более. Если сигнал на выходе такого элемента появляется при подаче сигнала на любой один из его входов, то элемент реализует логическую функцию ИЛИ, которая запишется в виде $x=a_1+a_2$. На рис. 13-7, *д* и *е* даны обозначения элемента ИЛИ и эквивалентная релейно-контактная схема.

Логический элемент, сигнал на выходе которого появляется лишь при наличии сигналов на всех его входах, выполняет логическую функцию И, которая выражается формулой $x=a_1 \cdot a_2 \cdot a_3$. Обозначение элемента И и схема его релейно-контактного эквивалента показаны на рис. 13-7, *ж* и *з*. Катушка реле X получит питание только при одновременном замыкании контактов a_1, a_2 и a_3, принадлежащих трем различным аппаратам.

Посредством элементов И, ИЛИ, НЕ, являющихся основными, могут быть собраны бесконтактные схемы автоматического управления, заменяющие любые релейно-контактные. Это вытекает из того, что все релейные схемы составляются из различных сочетаний последовательных и параллельных соединений замыкающих и размыкающих контактов и катушек реле. Комбинацией элементов одного вида или сочетанием свойств элементов И, ИЛИ, НЕ в одном элементе можно реализовать и другие функциональные зависимости, а также получать многофункциональные ЛЭ с несколькими выходами.

Логические бесконтактные элементы могут быть выполнены на электронных лампах, полупроводниковых диодах и транзисторах, на магнитных и ферритовых сердечниках. В схемах управления станками и станочными линиями наибольшее применение нашли транзисторные логические элементы серии «Логика-Т».

Мощность выходных цепей транзисторных логических элементов не превышает 100—150 мВт, поэтому для управления исполнительными устройствами (контакторами, электромагнитами и др.) дополнительно применяют транзисторные выходные усилители Т-300.

В качестве выходного узла логических устройств управления элементами автоматики, вплоть до осуществления частых пусков и остановок двигателей переменного тока мощностью до 1,1 кВт, используются также **магнитоуправляемые герметизированные контакторы** КМГ13 и КМГ14 (первые изготовляются открытыми, вторые — в кожухе). Контакторы КМГ14 унифицированы по габаритным и установочным размерам с бесконтактными элементами «Логика-Т», что расширяет номенклатуру логических элементов и позволяет осуществлять их совместную установку в блоках комплектных устройств. Герметизация контактов обеспечивает независимость их работы от условий внешней среды (повышенная влажность, пыль и др.), что повышает надежность контактирования и исключает необходимость ухода за контактами в процессе эксплуатации.

В настоящее время в отечественном станкостроении для решения различных задач автоматического управления начинают применяться новые логические элементы серий И и М, выполненные на базе интегральных микросхем, и комплектные управляющие устройства с программируемой логикой (командоаппараты) серии УЛП. Подобные системы используют на сверлильных, расточных и других станках.

Элементы управления серии «Логика-И» предназначены для применения в системах управления электроприводами, в устройствах сигнализации, измерения и защиты. Элементы по своему назначению делятся на следующие группы:

логические, выполняющие функции НЕ, 4И (цифра перед обозначением логической функции указывает число входов) и др., имеющие обозначения И-101, И-102, ..., И-119;

функциональные (И-201, И-202, ..., И-206), предназначены для связи реле, датчиков с логическими элементами;

времени (И-301), предназначен для получения задержки выходного сигнала относительно входного в пределах от 0,01 до 10 с.

выходные усилители (И-401, И-402, ..., И-406), предназначены для связи элементов серии «Логика-И» с аппаратами управления (реле, пускатели, контакторы и т. д.).

Элементы (модули) матричной логики серии М предназначены для построения логических схем автоматики станков, автоматических линий и других промышленных механизмов. Модули выполнены на микроэлектронной элементной базе (микросхемы серии К511) и герконных реле, используемых в качестве входной и выходной развязки. Конструктивно представляют собой печатные платы, набираемые в кассеты типа БУК-МЭК и БУК-Б. Система состоит из следующих модулей:

модуля согласования МС1 (входная развязка);
модуля согласования МС2 (выходная развязка);
модуля логики МЛ1 (реализация операции И);
модуля логики МЛ2 (реализация операции ИЛИ);
модуля временной задержки МВ1 (реализация выдержки времени до 6 с) и др.

Использование модулей серии М в схемах управления станками позволяет уменьшить габариты и повысить надежность комплектных устройств по сравнению с контактным эквивалентом, снизить расход цветных металлов, монтажного и обмоточного проводов.

Универсальные устройства управления с программируемой логикой серии УЛП (программируемые командоаппараты) предназначены для замены существующего релейно-контактного оборудования систем управления с разветвленной логикой. Устройства УЛП состоят из кассет входов, кассет выходов, кассет управления, блока питания, пультов контроля и записи программы.

Принцип работы устройств УЛП заключается в последовательном опросе входных сигналов, их логической обработке и выдаче сигналов в выходные устройства (каналы) по программе, записанной в постоянной памяти. Пульт записи посылает информацию в устройство памяти как в ручном, так и в автоматическом (с перфоленты) режиме, а также позволяет записать программу

на перфоленту. Пульт контроля позволяет контролировать информацию на шинах УЛП, а также выполнить любую команду из списка команд в непрерывном или одиночном режиме.

В основу работы УЛП положен программный принцип управления в отличие от аппаратного с неизменной логикой, применяемого в существующих релейно-контактных схемах автоматики. Основное преимущество УЛП заключается в том, что они позволяют легко изменять логику работы оборудования, не требуя при этом перемонтажа электрооборудования. В этом случае достаточно лишь изменить программу, заменив программоноситель (перфоленту) или записав новую программу в устройство постоянной памяти.

Бесконтактные путевые переключатели. Наряду с ЛЭ в схемах управления станками применяются преобразователи пути, работающие без механического воздействия со стороны движущегося упора. Широкое распространение получили бесконтактные переключатели щелевого типа с транзисторными усилителями, работающими в генераторном режиме. На рис. 13-8, *а* показан общий вид такого переключателя типа БВК-24. Его магнитопровод, размещенный в корпусе *4*, состоит из двух ферритовых сердечников *1* и *2* с воздушным зазором шириной 5—6 мм между ними. В сердечнике *1* размещается первичная обмотка $w_к$ и обмотка положительной обратной связи $w_{п.с}$, в сердечнике *2* — обмотка отрицательной обратной связи $w_{о.с}$. Такой магнитопровод исключает влияние внешних магнитных полей. Катушки обратной связи включены последовательно-встречно. В качестве переключающего элемента используется алюминиевый лепесток (пластинка) *3* толщиной до 3 мм, который может перемещаться в щели (в воздушном зазоре) магнитной системы датчика.

Если лепесток находится вне сердечника, то разность напряжений, индуктируемых в обмотках $w_{п.с}$ и $w_{о.с}$, будет положительной, транзистор *ПТ1* закрыт и генерация незатухающих колебаний в контуре $w_к$—*С3* (схема на рис. 13-8, *б*) не возникает. При введении лепестка в щель датчика связь между катушками $w_к$ и $w_{о.с}$ ослабевает (поэтому лепесток еще называют экраном), на базу транзистора *ПТ1* подается отрицательное напряжение и он открывается. В контуре $w_к$—*С3* возникает генерация и появляется переменный ток, который индуктирует ЭДС в катушке $w_{п.с}$ в цепи базы транзистора. На переходе

эмиттер — база происходит детектирование переменной составляющей коллекторного тока и реле *РП* срабатывает.

Возникновение и срыв генерации происходят за 3—4 периода несущей частоты 2,5—3 кГц, т. е. время срабатывания датчика составляет $(1—2)\cdot 10^{-3}$ с, погрешность срабатывания равна 1—1,3 мм при колебаниях напряже-

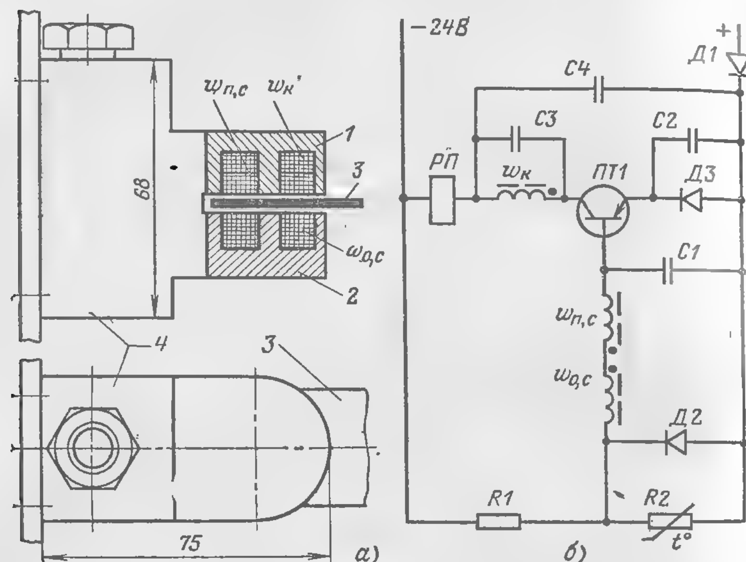


Рис. 13-8. Бесконтактный путевой переключатель типа БВК-24.

ния питания от 22 до 26 В. Переключатель БВК-24 отличается высокой надежностью, большой допустимой частотой срабатывания и быстродействием.

В станкостроении применяют также бесконтактные путевые переключатели БСП и БРП с датчиком в виде трансформатора с двумя вторичными обмотками, разомкнутым магнитопроводом и подвижным якорем. Погрешность срабатывания переключателя БСП составляет ±0,2 мм.

13-4. СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТЕРАМИ, ПОВОРОТНЫМИ СТОЛАМИ И МЕХАНИЧЕСКИМИ КЛЮЧАМИ

Транспортеры автоматических линий приводятся в действие от электро- или гидропривода. Для получения

возвратно-поступательного движения транспортера с электроприводом используют кулисный механизм. Недостаток этой системы состоит в том, что возможно смещение детали на позиции, так как во время ее закрепления транспортер возвращается в исходное положение. Такие транспортеры применяются лишь на линиях с малым числом позиций, небольшим шагом и невысокой точностью обработки. Транспортер с гидроприводом обеспечивает более высокую точность остановки детали, так как шток гидроцилиндра в конце пути упирается в жесткий упор и дальнейшее движение прекращается.

При обработке детали с нескольких сторон на разных станках ее необходимо поворачивать. Для поворота деталей в вертикальной плоскости применяют поворотные барабаны (кантователи), а в горизонтальной — поворотные столы. Эти механизмы разделяют линии на участки, которые обычно снабжаются отдельными транспортерами. Поворотные столы и барабаны приводятся в движение в основном гидроприводами.

Для четкой работы отдельных агрегатов автоматической линии необходима связь цепей управления станков с цепями управления транспортеров. Эта взаимная связь осуществляется путем подачи однотипных команд (электрических сигналов), поступающих от всех станков линии к транспортному устройству и, наоборот, от транспортного устройства ко всем станкам линии. К числу необходимых и обязательных команд относятся: а) команды, поступающие от станков к транспортным устройствам (контроль исходного положения подвижных узлов станка; переключение станков на автоматический режим работы; окончание работы станков); б) команды, получаемые от транспортного устройства (переключение станков с наладки на автоматический режим и наоборот; включение и отключение двигателей, вращающих инструменты; окончание работы транспортера и разрешение на включение станков в работу).

На рис. 13-9 изображен узел схемы, предназначенной для управления перемещениями транспортера одного из участков автоматической линии. Для согласования работы транспортера со станками служат реле *РП1*—*РП9*, которые контролируют окончание загрузочных операций на станках. Катушки этих реле включены в схемы управления станками. Пуск транспортера *Вперед* возможен только тогда, когда все силовые головки находятся в

исходном состоянии, детали расфиксированы и разжаты, при этом контакты реле *РП1—РП9* замыкаются и включается электромагнит хода *Вперед Эм1*. После отработки транспортером заданного перемещения нажимается путевой переключатель *ВК2*, отключается электромагнит *Эм1*, включается промежуточное реле *РП10* и электромагнит хода *Назад Эм2*. Реле *РП10* становится на са-

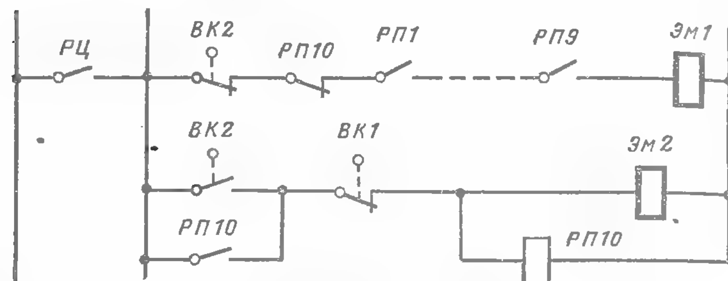
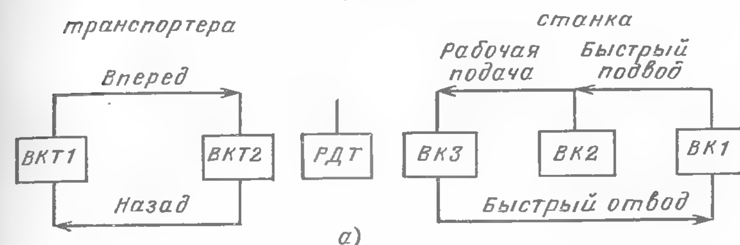


Рис. 13-9. Узел схемы управления движением транспортера линии.

мопитание. По окончании зажатия и фиксации деталей на всех позициях размыкаются контакты реле *РП1—РП9*. В конце движения транспортера *Назад* размыкается контакт путевого выключателя *ВК1* и отключается электромагнит *Эм2*. По окончании цикла, когда все силовые головки придут в исходное положение, детали расфиксируются и разомкнутся, вновь сработают реле *РП1—РП9* и включится *Эм1* и т. д. В случае полуавтоматического режима работы линии по окончании движения транспортера *Назад* отключится реле цикла *РЦ* и повторения цикла не произойдет, пока не будет подана соответствующая команда, включающая реле *РЦ*.

Последовательность действий отдельных элементов автоматической линии иллюстрируется схемой, приведенной на рис. 13-10, где показаны циклограммы работы одного из станков линии и транспортера (рис. 13-10, *а*), а также упрощенная схема управления приводом транспортера (рис. 13-10, *б*) с электрическим двигателем и кулисным механизмом. Назначение конечных выключателей: *ВКГ* — контроль исходного положения силовых головок (контакт *ВКГ* условно изображает контакты соответствующих конечных выключателей *ВК1* всех силовых головок станка участка); *ВКТ1* — контроль исход-

ного положения транспортера; *ВКТ2* — контроль окончания перемещения транспортера *Вперед* (при этом контакт *ВКТ2* замыкается); *ВКО* — контроль отжатия всех обрабатываемых деталей (контакт *ВКО* условно изобра-



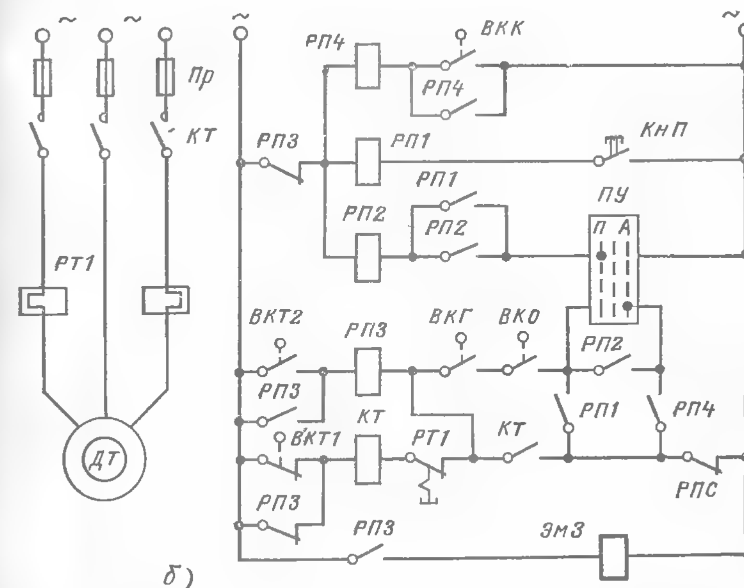


Рис. 13-10. Схема управления участком автоматической линии.

жает контакты соответствующих конечных выключателей всех станков); *ВКК* — контроль окончания обработки деталей на всех станках (контакт *ВКК* условно изображает контакты соответствующих конечных выключателей *ВК3* всех станков). С помощью переключателя *ПУ* можно избрать автоматический или полуавто-

матический режим работы линии. Реле *РПС*, катушка которого включена в схему пуска и останова линии, исполняет команду *Предварительный стоп* линии. При включении этого реле в процессе работы линии (но при стоящем транспорте) цикл линии полностью завершится, но повторное включение линии (ручное или автоматическое) будет невозможно, пока не будет отключено реле *РПС*.

Пусть линия работает в автоматическом режиме. Если все силовые головки находятся в исходном положении (замкнут контакт *ВКГ*) и все обрабатываемые детали отжаты (замкнут контакт *ВКО*), то при нажатии на кнопку *КнП* включаются реле *РП1*, и срабатывает контактор *КТ*. Получает питание двигатель *ДТ*, и при этом освобождается от нажатия выключатель *ВКТ1*, контакт которого замыкается. В конечном положении транспортера замыкается контакт *ВКТ2*, и получает питание реле *РП3*, замыкающие контакты которого шунтируют контакт *ВКТ2* и включают электромагнит зажима *ЭмЗ*, условно изображающий электромагниты зажима всех станков. После окончания зажима деталей размыкается контакт *ВКО*, и реле давления *РДТ* дает команду на начало работы силовых головок. Двигатель *ДТ* продолжает оставаться включенным, вращаясь в прежнем направлении, а транспортер кулисным механизмом перемещается *Назад*. При достижении исходного положения размыкается контакт выключателя *ВКТ1*, а так как размыкающий контакт *РП3* разомкнут, то теряет питание контактор *КТ*, отключая двигатель *ДТ* и реле *РП3*. Замыкающий контакт реле *РП3* обесточивает катушку электромагнита *ЭмЗ*. По окончании процесса обработки деталей на всех станках замыкается контакт *ВКК*. Включается и становится на самопитание реле *РП4*. После возвращения силовых головок в исходное положение и отжатия деталей на всех станках замыкаются контакты выключателей *ВКГ* и *ВКО*. Без воздействия на кнопку *КнП* вновь получает питание контактор транспортера *КТ*, включается двигатель *ДТ* и цикл работы линии автоматически повторяется.

Для получения полуавтоматического режима работы переключатель *ПУ* переводят в положение *П*. После нажатия кнопки *КнП* включается реле *РП1*, затем *РП2*, и транспортер пускается в ход. В конце хода *Вперед* включается реле *РП3*, а реле *РП2* отключается. В дальнейшем схема управления двигателем транспортера работает до окончания цикла так же, как и в автоматическом режиме. Но после возвращения транспортера в исходное положение работа линии не возобновится до тех пор, пока оператор вновь не нажмет кнопку *КнП* и не включится реле *РП1*. Оператор может нажать кнопку *КнП* еще в процессе работы линии (но при стоящем транспортере). Эту команду запомнит реле *РП2*, и по

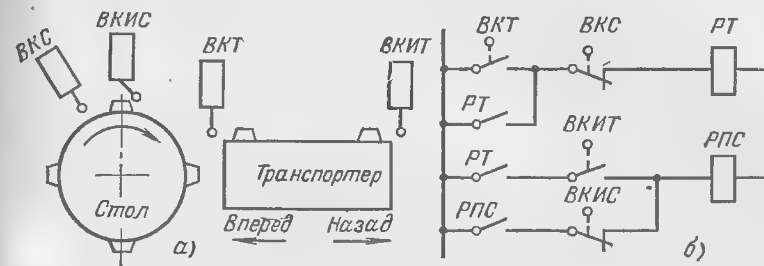


Рис. 13-11. Схема управления поворотным столом линии.

окончании цикла произойдет автоматическое его повторение.

Как отмечалось выше, для поворота деталей служат поворотные столы и барабаны. Загрузка деталей на эти механизмы производится транспортером при его движении вперед. По возвращении транспортера в исходное положение стол с деталью поворачивается на рабочую позицию. На рис. 13-11, *б* изображена схема управления поворотным столом. В исходном положении стола нажат путевой переключатель *ВКИС*. В конце хода *Вперед* транспортер упором нажимает на путевой выключатель *ВКТ* (рис. 13-11, *а*), срабатывает реле *РТ* и замыкает свои контакты. После возвращения транспортера в исходное положение срабатывает путевой выключатель *ВКИТ*, включая реле поворота стола *РПС*. Происходит поворот стола, т. е. перемещение деталей на одну позицию, во время которого специальный переключатель *ВКС* отключает реле *РТ*. После окончания поворота стола размыкается контакт переключателя исходного положения *ВКИС* и реле *РПС* теряет питание. При новом движении транспортера вперед цикл работы стола будет повторяться.

13-5. УПРАВЛЕНИЕ СТАНКАМИ АВТОМАТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

Как специальные, так и универсальные станки автоматических линий обычно имеют самостоятельные схемы управления, построенные в основном по принципу пути. Электрические схемы управления станками, так же

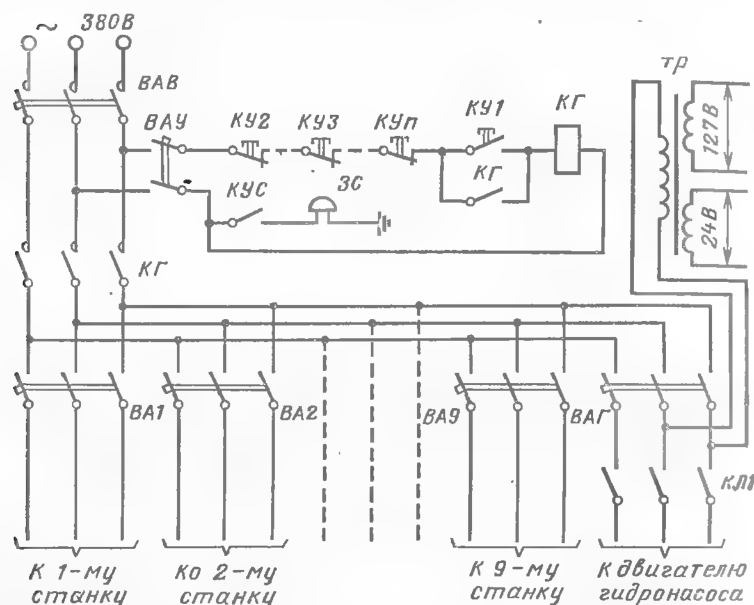


Рис. 13-12. Принципиальная схема силовой цепи автоматической линии.

как и схемы линий, должны обеспечивать следующие режимы работы: автоматический (в линии), полуавтоматический (вне линии) и наладочный. Выбор того или иного режима работы производится переключателем, установленным на пульте управления станка.

В автоматическом режиме в схему станка от механизмов линии подаются команды на пуск, переключение скорости движения и останова станка. При полуавтоматическом режиме станок исключается из работы линии, управление им производится с отдельного пульта, и он может быть использован для об-

работки деталей параллельно с другими станками линии.

Каждый станок подает в схему управления линией команды, свидетельствующие о его режиме работы, контактами переключателей режимов *ПР*, а свидетельствующие об исходном положении подвижных элементов — замыкающим контактом реле *РИЛ* (см. рис. 13-5).

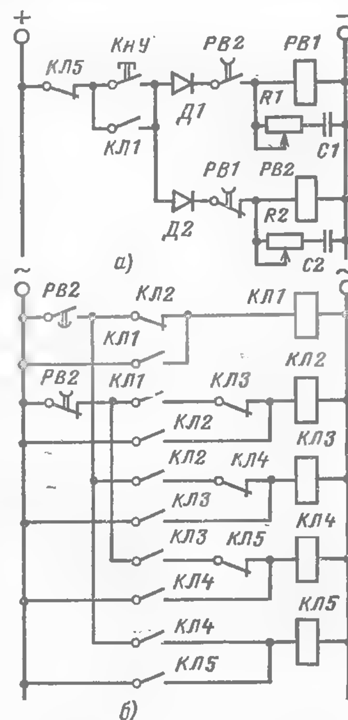


Рис. 13-13. Схема управления ступенчатым пуском постоянно работающих двигателей.

Схемы силовых цепей автоматических линий должны иметь аппараты централизованного управления и защиты, которые позволяли бы включать и отключать все станки и механизмы.

На рис. 13-12 изображена схема силовой цепи автоматических линий. Подача напряжения на схему производится включением от руки вводного автомата *ВАВ*. Питание к отдельным станкам подается через автоматические выключатели *ВА1*, *ВА2* и т. д. Включение главного контактора *КГ* после включения автомата *ВАУ* можно произвести только с центрального пульта управления линии нажатием кнопки *КУ1*, а отключение — нажатием кнопки *КУ2*, расположенной на том же пульте, или кнопками *КУ3*, ..., *КУп*, которые размещены на вспомогательных пультах. Трансформатор *Тр* подключается к силовой цепи через автоматический выключатель *ВАГ* совместно с электродвигателем гидравлики. Напряжение 12 В применяется для питания цепей управления механизмами линии, а напряжение 24 В — для сигнальных ламп, установленных на центральном пульте.

В автоматических линиях работает большое количест-

во двигателей, которые включены постоянно, и управление ими не связано с циклом линии. Сюда относятся двигатели насосов охлаждения и смазки, гидронасосов, транспортеров для удаления стружки, а иногда и двигатели привода инструментов. При значительной суммарной мощности таких двигателей для уменьшения пусковых токов и падения напряжения в цеховой сети применяют ступенчатый пуск их по группам с автоматическим управлением от пульс-пары (рис. 13-13).

Пуск двигателей производится оператором нажатием на кнопку *КнУ* (рис. 13-13, *а*). При этом включается реле *РВ2* и своим контактом замыкает цепь катушки реле *РВ1*, которое срабатывает и размыкает контакт в цепи реле *РВ2*. Но якорь реле *РВ2* отпадает не сразу, а с выдержкой времени, так как напряжение на катушке этого реле уменьшается постепенно за счет разряда конденсатора *С2*. Точно так же с выдержкой времени будет отключаться реле *РВ1*. Таким образом, реле *РВ1* и *РВ2* образуют пульс-пару — поочередно включаются и отключаются с выдержкой времени при отключении, величина которой зависит от параметров цепочек *R1—C1* и *R2—C2*.

При включении реле *РВ2* включается и становится на самопитание контактор *КЛ1* (рис. 13-13, *б*), вследствие чего пускается первая группа двигателей. При отключении реле *РВ2* включается контактор *КЛ2*, и пускается вторая группа двигателей, затем включается контактор *КЛ3* и т. п. Срабатывание последнего контактора (в данном примере *КЛ5*) отключает пульс-пару от сети.

13-6. БЛОКИРОВКИ, АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ И СИГНАЛИЗАЦИЯ НА СТАНОЧНЫХ ЛИНИЯХ

Для правильного выполнения заданной последовательности движений, обусловленных технологическим процессом, и исключения возможности поломок должны осуществляться определенная связь и блокировки между отдельными станками линии, транспортирующими и зажимными устройствами. Наиболее приемлемой и гибкой является электрическая связь благодаря компактности аппаратуры, дистанционному управлению, легкости замены аппаратов и др.

Различают блокировки рабочего цикла (цикловые), действующие только в автоматических режимах, и наладочные. В отличие от командных связей цикловые блокировки не приводят непосредственно к каким-либо действиям или движениям, а только запрещают или разрешают их. Например, блокировочные связи делают возможным: 1) подвод силовых головок лишь в том случае, когда обрабатываемая деталь зафиксирована и зажата; 2) отжатие деталей только после отхода силовых головок в исходное положение; 3) пуск транспортера лишь при условии отжатия деталей и вывода фиксирующих шпилек; 4) поворот стола только при нахождении транспортера в исходном положении и т. д.

Наибольшую эффективность дают блокировки при осуществлении их в функции прямых показателей контролируемых объектов или параметров. С этой целью чаще всего используются путевые переключатели и реле давления. Первые контролируют положение подвижных узлов отдельных механизмов линии, а вторые срабатывают, когда силовые головки с гидроприводом встречают препятствие на пути своего движения или когда достигнут заданный уровень давления в зажимном устройстве.

Н а л а д о ч н ы е б л о к и р о в к и применяются для обеспечения безопасности при наладке станков линии и предотвращения различных поломок механизмов вследствие неправильных действий оператора. Они осуществляются включением в наладочные цепи последовательно с кнопками управления контактов других аппаратов, что позволяет выводить или, наоборот, вводить в работу любой станок линии или группу станков в любом сочетании.

Для облегчения труда оператора по наблюдению за состоянием линии, предупреждению и нахождению неисправностей, которые могли бы привести к поломкам инструмента или аварийному останову, в схемах управления линиями применяются различные устройства автоматического контроля. Эти устройства состоят из датчиков, преобразующих изменения контролируемых параметров в электрические сигналы, которые через усилители воздействуют на аппаратуру управления. Многочисленные устройства контроля по своему назначению можно разделить на три основные группы: контролирующие темп работы линии и начало цикла; размеры обрабатываемых деталей; целость и износ инструмента.

К о н т р о л ь т е м п а р а б о т ы применяют в сложных линиях (рис. 13-14, *а*). В автоматическом режиме

контакт реле *РАР* замкнут. С началом цикла линии замыкается контакт реле *РД1*, включая реле времени *РВТ*, выдержка времени которого превышает время цикла линии. Если хотя бы один агрегат за установленное время не возвращается в исходное положение, то реле *РВТ* срабатывает, отключает линию и дает сигнал о задержке темпа. При возвращении всех агрегатов в исходное положение в установленное время это реле отключается контактом реле *РИЛ*.

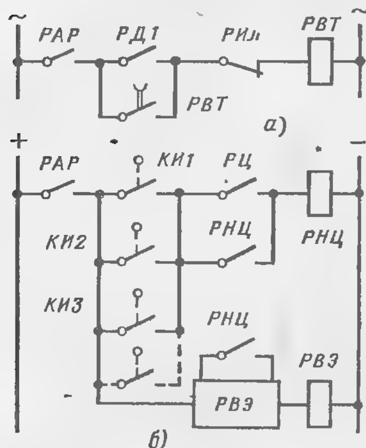


Рис. 13-14. Схема контроля темпа (*а*) и начала цикла (*б*) линии.

Очень часто в автоматических линиях станки одной группы начинают цикл одновременно. Однако если какой-либо станок остался в исходном положении, то может получиться брак в обработке деталей. Поэтому применяют контроль начала цикла в функции времени (рис. 13-14, *б*). В исходном положении агрегатов замкнуты контакты переключателей *КИ1*, *КИ3*... и контакт реле *РАР*. При подаче команды на начало цикла срабатывает реле *РЦ* и своим контактом подключает реле *РНЦ*, которое становится на самопитание и включает электронное реле времени *РВЭ*, дающее при включении выдержку времени в несколько секунд. Если какой-либо станок остался в исходном положении, то будет замкнут соответствующий этому станку контакт *КИ*, останется включенным и реле *РНЦ*. Реле *РВЭ* сработает, подавая сигнал на включение реле контроля *РК1*, *РК2*..., что приводит к запрещению начала следующего цикла работы линии (см. рис. 13-5, *а*).

В станочных линиях различают два вида автоматического контроля размеров: пассивный и активный. При пассивном контроле в случае отклонения размеров от заданных значений происходит прекращение обработки, и отдельные агрегаты или вся линия останавливаются. При активном контроле сначала подается команда на автоматическую подналадку инструмента в связи с его износом, а когда нужный размер будет достигнут, подается команда на прекращение подналадки.

В обоих случаях контроля чаще всего применяют электроконтактные датчики размеров (электроконтактные головки). Для увеличения срока службы таких датчиков ток в цепи их контактов должен быть мал, поэтому они включаются в схему через полупроводниковые усилители (см. схему на рис. 11-9, *б*).

Режущие инструменты, число которых на станочных линиях исчисляется сотнями, в процессе обработки деталей изнашиваются, могут ломаться, во избежание брака надо следить за их состоянием и своевременно менять. Для облегчения работы операторов применяется автоматический контроль износа и целости инструмента. Инструменты, имеющие примерно одинаковую стойкость, разбиваются на группы, и контроль за их износом производится путем подсчета числа циклов, отработанных этими инструментами. Когда число циклов достигнет установленного значения, специальный прибор подает в схему управления сигнал на смену соответствующих инструментов.

Контроль целости инструмента производится посредством автоматического ощупывания инструмента специальными щупами в конце каждого цикла обработки.

В схемах управления автоматическими линиями, которые могут состоять из десятков станков и механизмов, применяется большое количество различных электрических аппаратов, и в случае возникновения неисправностей приходится тратить гораздо больше времени на их нахождение, нежели на устранение этих неисправностей. Для облегчения наблюдения за работой механизмов, а также для ускорения отыскания причин и мест неисправностей на автоматических линиях широко применяются сигнальные устройства. Наибольшее распространение в схемах управления линиями получила световая сигнализация с помощью сигнальных ламп различной мощности и габаритов, которые устанавливаются на пультах и в шкафах управления. Звуковая сигнализация в станочных линиях применяется реже. В качестве сигнальных устройств в таких случаях применяют электрические сирены или гудки, извещающие о начале работы

линии, о нарушениях, связанных с опасностью для обслуживающего персонала, и т. п.

По своему назначению сигнализация подразделяется на два вида: известительную — для наблюдения за состоянием и положением механизмов линии и аварийно-предупредительную, сигнализирующую о срабатывании различных контрольных устройств.

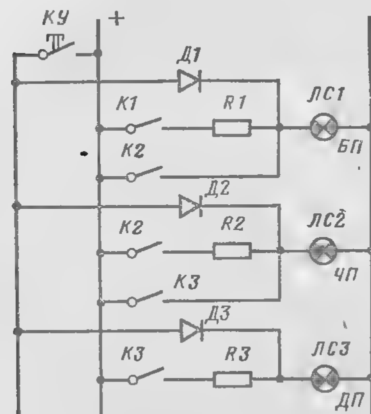


Рис. 13-15. Схема сигнализации о выполненных движениях.

При световой сигнализации о состоянии контролируемого объекта наиболее удобным является использование мигания сигнальных ламп при срабатывании контрольных устройств. В данном случае световое состояние ламп будет означать: горение вполнакала — целость нити накала лампы: полный накал — нормальное состояние контролируемого объекта; мигание — аварийное состояние.

В станках, выполняющих большое число движений за один цикл, например при глубоком сверлении, недостаточно знать, в каком положении находятся подвижные элементы станка в момент останова линии. В этом случае оператор должен знать, какие движения совершались. Схема сигнализации о выполненных движениях показана на рис. 13-5. После подачи команды на первое движение (например, на быстрый подвод *БП*) замыкается контакт *К1*, и загорается вполнакала сигнальная лампа *ЛС1*. После окончания этого движения подается команда на следующее движение (предположим, на черновую подачу *ЧП*), одновременно замыкаются контакты *К2*, и лампа *ЛС1* включается на полное напряжение, а лампа *ЛС2* загорается вполнакала. Когда закончится второе движение, то замкнутся контакты *К3* (команда на доводочную подачу *ДП*), и лампа *ЛС2* загорится ярко, а лампа *ЛС3* — вполнакала и т. д. Электроаппараты контроля *К1*, *К2* и т. д. в данной схеме остаются

включенными до конца цикла, поэтому после останова линии ярко горящие лампы будут указывать законченные движения, а горящие вполнакала — незаконченные. Проверка исправности сигнальных ламп производится нажатием кнопки *КУ*, которая одновременно подает полное напряжение на все лампы через диоды *Д1—Д3*.

Глава четырнадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ УСТАНОВОК ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ И УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

14-1. УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

Электроэрозионная обработка стали, твердых сплавов и других токопроводящих материалов является одной из разновидностей электротехнологии — методов размерной обработки, в основу которых положено использование термического, химического или комбинированного действия электрического тока. Она применяется в тех случаях, когда обработка материалов обычными механическими способами резания связана с большими трудностями, а подчас и вообще невозможна.

Электроэрозионная обработка основана на эффекте полезного съема металла с обрабатываемой заготовки в результате теплового воздействия коротких во времени униполярных импульсов электрической энергии. Эта энергия выделяется в канале электрического разряда между поверхностью заготовки (детали) и электродом—инструментом, погруженным в жидкую среду (керосин, соляровые или машинные масла, дистиллированную и техническую воду). Следующие друг за другом через промежуток *электрод — заготовка* импульсные разряды с амплитудой тока в сотни и тысячи ампер выплавляют и испаряют микропорции материала заготовки. Капли и пары расплавленного материала благодаря избыточному давлению в области разряда выбрасываются за ее пределы и застывают в рабочей жидкости в виде мелких частиц, не осаждаясь на электроде-инструменте. Последний, таким образом, получает возможность внедряться в заготовку. Весьма ценно то, что при электроэрозионной обработке отсутствует необходимость в инструментах

более твердых, чем обрабатываемый материал. Любые материалы могут быть обработаны электродами-инструментами из меди, латуни, алюминия, чугуна и графитированного материала, изготовленными на обычных металлорежущих станках. Электрод-инструмент при электроэрозионной обработке служит для подведения импульсов электрической энергии к определенным участкам заготовки. Механического воздействия на деталь он не оказывает. Операции, выполняемые таким способом, получили название копировально-прошивочных.

Различают два вида электроэрозионной обработки: электроимпульсную, при которой используется дуговая форма электрического разряда, и электроискровую, для которой типична искровая форма разряда. При электроискровой обработке импульсами (с энергией импульса от сотых долей до единиц джоулей и продолжительностью $t_и < 10^{-4}$ с) большой частоты (до десятков и сотен килогерц) деталь, как правило, является анодом (так называемая прямая полярность). Электроимпульсная обработка производится более широкими импульсами (с энергией от единиц до нескольких десятков джоулей и $t_и > 10^{-4}$ с) меньшей частоты (до сотен и тысяч герц) и обычно при обратной полярности, когда деталь является катодом.

Производительность электроэрозионной обработки — количество снимаемого с детали металла в единицу времени и износ электрода-инструмента зависят от мощности, частоты и длительности импульсов, их полярности и формы, состава рабочей жидкости, материала детали и инструмента. Поэтому для каждого конкретного случая обработки имеется свой оптимальный режим, т. е. наилучшее сочетание упомянутых факторов.

Электроэрозионная обработка используется при производстве деталей электрических машин для прошивания отверстий (круглых и сложного профиля), прорезания канавок, пазов и шлицев, изготовления матриц штампов, обработки полостей пресс-форм, изготовления и профилирования твердосплавных резцов, шлифования плоскостей постоянных магнитов и т. д. Электроимпульсная обработка производительнее и экономически выгоднее электроискровой благодаря использованию более мощных импульсов. В свою очередь электроискровая обработка позволяет получить более высокую точность и чистоту поверхности.

Электроэрозионные станки. Электроэрозионная обработка производится на станках, которые делятся на копировально-прошивочные, шлифовальные, разрезные и специальные. Наибольшее распространение получили копировально-прошивочные станки, которые могут быть в обычном исполнении, повышенной точности и прецизионными. К станкам этой группы относятся, такие, например, как тяжелый электроимпульсный станок модели 4726, потребляющий мощность 60 кВт, на котором можно обрабатывать детали массой до 9800 кг (ковочные штампы, пресс-формы и всевозможные детали сложного профиля) с наибольшей производительностью до 10 см^3/мин при четвертом классе чистоты поверхности (по стали). Электроискровой станок повышенной точности модели 183 имеет мощность 7 кВт и предназначен для деталей массой до 250 кг при производительности до 0,02 г/мин в режиме обработки с чистотой поверхности пятого класса (по стали). Прецизионный электроэрозионный станок модели 150 мощностью 0,8 кВт служит для получения малых отверстий с точностью расположения их центров $\pm 0{,}003$ мм.

На рис. 14-1 показан универсальный станок модели 183. Его основные узлы: основание *1* со стойкой *10*; ванна *2* с рабочей жидкостью; продольный суппорт *8* с поворотным кругом, перемещающийся по направляющим *9* стойки; поперечный суппорт с рабочей головкой *7*, который может перемещаться по направляющим *6*, закрепленным на поворотном круге; электрододержатель *5*; стол *3*, укрепленный на жестком угловом кронштейне *4* стойки (между столом и кронштейном проложена изоляционная плита); панель управления *11*. Механизм подачи с электроприводом, находящийся в рабочей головке, обеспечивает движение подачи электрода-инструмента по продольной оси головки. На столе станка могут устанавливаться детали с размерами до 1100×400×120 мм.

После закрепления детали на столе производят настройку положения электрода-инструмента при помощи маховичков. Затем ванну с жидкостью поднимают, пока деталь не погрузится полностью в жидкость. Далее включают ток и опускают электрод-инструмент до появления первых искровых разрядов. Дальнейшая обработка по направлению подачи электрода происходит автоматически под наблюдением по приборам.

На станке модели 183 могут выполняться разнообразные операции, в том числе перечисленные выше, включая шлифование (с применением приспособлений к станку).

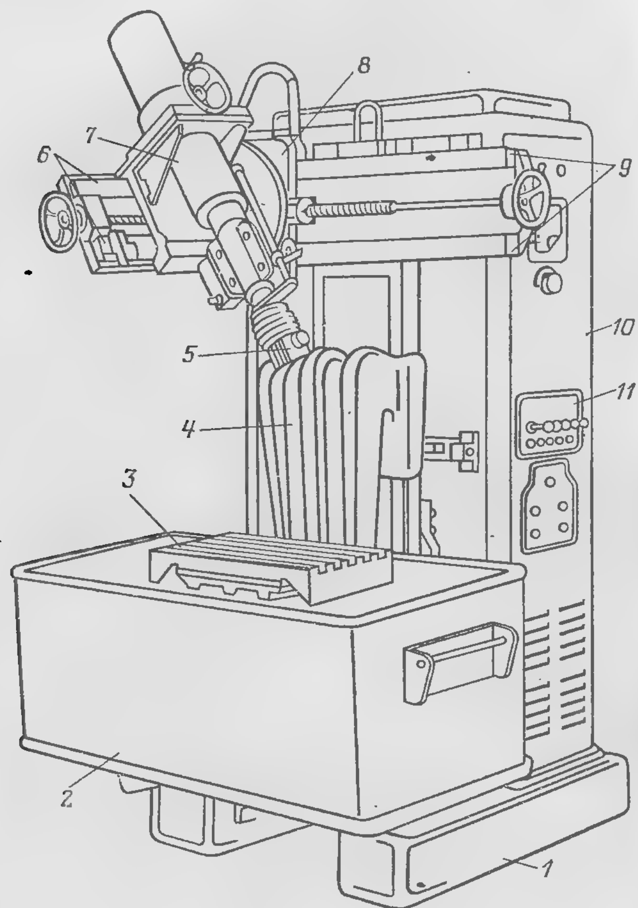


Рис. 14-1. Электроэрозионный станок модели 183.

Генераторы импульсов. Для нормального хода процесса размерной электроэрозионной обработки необходимо, чтобы через промежуток между электродом-инструментом и деталью проходил стабильно поддерживаемый импульсный ток и предупреждался бы переход импульсного разряда в непрерывный дуговой разряд. Формирование импульсов тока осуществляется с помощью специальных генераторов импульсов. В настоящее время применяют многочисленные схемы таких генераторов, отличающихся друг от друга по принципу действия и по производимому ими технологическому эффекту.

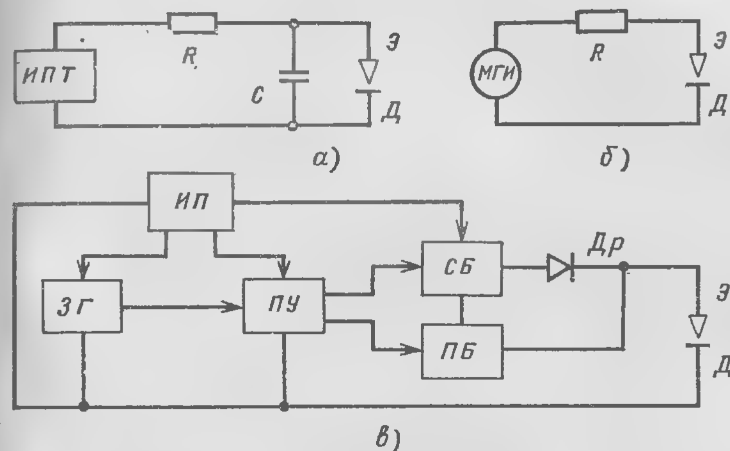


Рис. 14-2. Принципиальные схемы генераторов импульсов электроэрозионных станков.

Рассмотрим некоторые типичные варианты генераторов импульсов, принципиальные схемы которых приведены на рис. 14-2.

В *релаксационном генераторе* типа RC (рис. 14-2, *а*) от источника постоянного тока *ИПТ* с напряжением 100—250 В через токоограничивающее сопротивление *R* конденсатор *C* запасает некоторое количество энергии. Напряжение на конденсаторе повышается до $U_{\text{пр}}$, при котором происходит пробой промежутка между электродом-инструментом *Э* и деталью *Д*. Запасенная в конденсаторе энергия выделяется в промежутке *Э — Д* в виде импульса тока $i_{\text{и}}$. По мере разряда конденсатора напряжение на нем падает и через некоторое время становится меньше значения, при котором может поддерживаться проводящее состояние промежутка *Э — Д*. Ток $i_{\text{и}}$ быстро уменьшается, а затем прекращается. Сразу же начинается заряд конденсатора, и описанный процесс

повторяется с определенной частотой, зависящей от параметров схемы. Регулирование частоты следования и параметров импульсов осуществляется путем изменения емкости конденсатора *C* (подключением разных конденсаторов). Генератор RC дает импульсы большой частоты (до 200 Гц) и скважности. Скважность *q* импульса — отношение интервала времени между соседними импульсами ко времени существования импульса. Большой скважностью обычно считают значения $30—10>q>5$ (типично для электроискровой обработки), малой — $q<5$ (типично для электроимпульсной обработки). Средняя мощность генераторов типа RC — от 0,05 до 10 кВт. Основные их достоинства — простота и надежность.

На рис. 14-2, *б* приведена принципиальная схема *машинного генератора* импульсов типа МГИ. Импульс энергии подается на промежуток *Э — Д* через токоограничивающее сопротивление *R* от специального индукторного генератора *МГИ* на частоту 400 Гц со щеточным коммутатором для получения униполярного напряжения на выходе генератора. Генераторы такого типа дают мощные импульсы (десятки киловатт) с малой скважностью и применяются для режимов черновой обработки. Другие конструкции машинных индукторных генераторов типа МГИ рассчитаны на более высокие частоты.

В настоящее время распространение получили также широкодиапазонные *генераторы импульсов на транзисторах* (рис. 14-2, *в*). Задающий частоту импульсов генератор *ЗГ* через промежуточный усилитель *ПУ* отпирает на заданное время силовой транзисторный блок *СБ* (большое число транзисторов здесь включено параллельно; они работают в режиме ключа). Блок *СБ* присоединен к источнику питания *ИП* (выпрямителю) с напряжением 50—60 В. Одновременно поджигающий блок *ПБ* выдает короткий импульс напряжения амплитудой 150—300 В (поджигающий импульс), который пробивает промежуток *Э — Д*. Теперь по промежутку *Э — Д* по цепи от источника питания *ИП* через блок *СБ* и разделительный диод *ДР* проходит импульс тока заданной формы, амплитуды и длительности. Широкодиапазонные транзисторные генераторы импульсов типа ШГИ обеспечивают среднюю мощность на выходе до 4 кВт при частотах от 0,1 до 440 кГц при любой требуемой скважности импульсов.

Автоматические регуляторы. В процессе электроэрозионной обработки по мере удаления материала обрабатываемой детали и износа электрода-инструмента происходит увеличение промежутка *Э — Д*. Поэтому необходимо непрерывное сближение электрода с деталью. Оно обеспечивается при помощи автоматического регулятора подачи электрода, поддерживающего определенную величину промежутка *Э — Д*, соответствующую заданному режиму обработки.

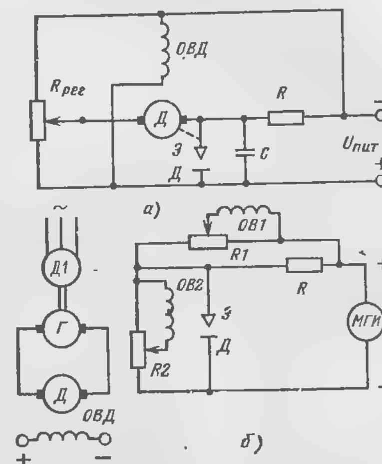


Рис. 14-3. Электрические схемы автоматических регуляторов электроэрозионных станков.

На рис. 14-3, *а* показана электрическая схема простейшего автоматического регулятора с так называемым непосредственным включением (без усилителя). Для привода подачи электрода-инструмента используется двигатель постоянного тока с независимым возбуждением. Якорь двигателя *Д* включен в диагональ моста, плечи которого образованы потенциометром $R_{рег}$, токоограничивающим резистором *R* генератора импульсов типа *RC* и разрядным промежутком *Э — Д*. Обмотка возбуждения двигателя *ОВД* питается от источника постоянного тока генератора импульсов. Двигатель *Д* — специального исполнения обладает высокой чувствительностью к изменению напряжения и тока якоря. Напряжение и ток трогания двигателя не более 3 В и 0,16 А.

Контролируемым параметром для регулятора является среднее напряжение на промежутке *Э — Д*. Если режим обработки соответствует заданному, то мост сбалансирован и двигатель неподвижен. Когда среднее напряжение на промежутке *Э — Д* отклоняется от заданного в ту или иную сторону, на якоре двигателя появляется напряжение соответствующей полярности, двигатель начинает вращаться, перемещая при помощи

ходового винта электрод-инструмент в нужном направлении. Заданное среднее напряжение устанавливается потенциометром $R_{рег}$.

С целью повышения чувствительности регулятора применяют схемы питания якоря двигателя подачи электрода через промежуточный усилитель (электромашинный, транзисторный или тиристорный), на входе которого производится измерение отклонения контролируемого параметра от заданного значения.

Для примера на рис. 14-3, *б* приведена схема регулятора с электромашинным промежуточным усилителем. В данном случае в качестве генератора импульсов использован машинный генератор *МГИ*. Промежуточный усилитель представляет собой небольшой генератор постоянного тока *Г* с двумя обмотками возбуждения *ОВ1* и *ОВ2*, приводимый во вращение асинхронным двигателем *Д1* с короткозамкнутым ротором. Генератор *Г* питает якорь двигателя *Д* подачи электрода-инструмента.

Обмотка *ОВ1* включена через потенциометр *R1* на падение напряжения в токоограничивающем резисторе *R*, пропорциональное току через промежуток *Э — Д*. Обмотка *ОВ2* включена через потенциометр *R2* на напряжение этого промежутка. При этом МДС обмоток направлены встречно. В нормальном (заданном) режиме обработки результирующая МДС $F_г$ генератора *Г* равна нулю. Если промежуток *Э — Д* увеличится, то соответственно возрастет напряжение на нем, а ток уменьшится. В результате появится МДС $F_г<0$, генератор возбудится, что приведет к троганию двигателя *Д* и перемещению электрода-инструмента в сторону уменьшения промежутка *Э — Д*. При $F_г>0$ движение электрода-инструмента будет совершаться в противоположном направлении.

Электрические схемы. Основными элементами электрической части электроэрозионного станка являются генератор импульсов, автоматический регулятор подачи, вспомогательные электроприводы подъема ванны, перемещения рабочей головки и других узлов станка, устройства для регулирования режимов обработки, контроля и защиты.

На рис. 14-4 приведена электрическая схема копировально-прошивочного электроэрозионного станка общего назначения модели 18М2. Мощность, потребляемая стан-

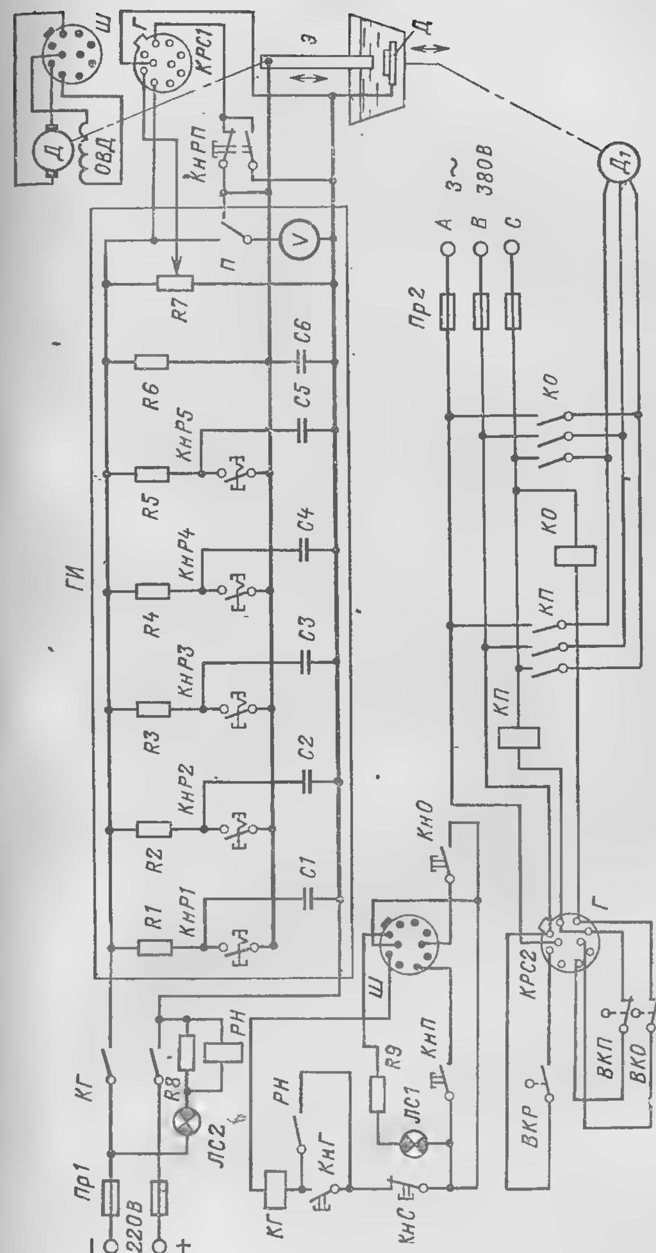


Рис. 14-4. Электрическая схема станка модели 18М2.

ком, не более 7 кВ·А. Объем рабочей жидкости (соляровое масло) 250 л.

Двигатель *Д1* перемещения ванны с рабочей жидкостью асинхронный, с короткозамкнутым ротором. К сети 380 В двигатель подключается реверсивными контакторами *КП* и *КО*. О наличии напряжения сети сигнализирует лампа *ЛС1*. Для подъема ванны двигатель *Д1* включается кнопкой *КнП*, для ее опускания— кнопкой *КнО*. Конечные выключатели *ВКП* и *ВКО* ограничивают предельные положения ванны. На схеме обозначены: *КРС1* и *КРС2* — контактные разъемные соединения (*Ш* — штырь, *Г* — гнездо).

Питание RC-генераторов импульсов *ГИ* осуществляется от источника постоянного тока (генератора или выпрямителя) с выходным напряжением 220 В (на схеме не показан).

Установка рабочей частоты импульсов производится кнопками с защелкой *КнР1* — *КнР5*, которые подключают конденсаторы *С1* — *С5* к промежутку электрод — деталь (*Э* — *Д*). При этом каждому конденсатору будет соответствовать определенный токоограничивающий резистор *R1* — *R5*. Конденсатор *С6* и резистор *R6* включены постоянно. Таким образом, можно задать шесть режимов обработки по частоте. Для самого тонкого режима применяют комбинацию *С6*, *R6* при выключенных кнопках *КнР1* — *КнР5*.

Автоматический регулятор подачи электродов с двигателем *Д* выполнен по рассмотренной выше схеме (рис. 14-3, *а*). Задание среднего напряжения на промежутке *Э* — *Д* осуществляется при помощи потенциометра *R7*. Для контроля служит вольтметр *V* при правом положении переключателя *П*. В левом положении переключателя контролируется напряжение питания генератора *ГИ*.

Работа схемы происходит следующим образом. Для подъема ванны нажимается кнопка *КнП*, включаются контактор *КП* и двигатель *Д1*. Ванна поднимается. По достижении ею требуемого положения кнопку *КнП* отпускают, и ванна останавливается. В рабочем положении ванны контакт конечного выключателя *ВКР* замкнется, поэтому будет подано напряжение на цепь катушки контактора *КГ*. Если предварительно был включен источник питания постоянного тока 220 В, то после нажатия на кнопку *КнГ* включится контактор *КГ*

и присоединит *ГИ* к источнику питания. При этом включится реле напряжения *РН* и загорится сигнальная лампа *ЛС2*, контакт *РН* заблокирует кнопку *КнГ*. На обмотку возбуждения *ОВД* двигателя *Д* будет подано напряжение 220 В.

Поскольку электрод *Э* отведен от детали *Д*, на якорь двигателя *Д* через ползунок потенциометра *R7* подается часть напряжения источника питания, и двигатель перемещает электрод по направлению к поверхности детали. Когда электрод приблизится к детали настолько, что произойдет пробой промежутка *Э*—*Д*, начнется рабочий процесс электроэрозионной обработки при автоматическом поддерживании регулятором заданного режима. Нажатие на кнопку реверса *КнРП* прерывает рабочий процесс, так как один конец обмотки якоря двигателя *Д* переключается с отрицательного электрода на положительный полюс источника, двигатель реверсируется и отводит электрод от детали.

Электрические схемы многих электроэрозионных станков других моделей подобны рассмотренной. Например, схема станка модели 183, показанного на рис. 14-1, отличается по существу лишь наличием еще одного двигателя перемещения продольного суппорта. В ряде случаев в электрической схеме предусматривается подключение разных генераторов импульсов для расширения технологических возможностей станка.

14-2. УСТАНОВКИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ

Этот вид обработки металлов и твердых материалов основан на использовании упругих колебаний со сверхзвуковой частотой — ультразвуковых колебаний. Для промышленных ультразвуковых станков и установок обычно характерны частоты 16—30 кГц.

Можно назвать две разновидности ультразвуковой обработки: размерную обработку на станках с применением инструментов и очистку в ваннах с жидкой средой.

Основным рабочим механизмом ультразвукового станка служит акустический узел, назначение которого — приведение рабочего торца инструмента в колебательное движение. Упрощенная схема устройства акустического узла представлена на рис. 14-5.

Акустический узел (головка) получает энергию от генератора электрических колебаний, в качестве которого применяется обычно ламповый генератор (см. § 1-4). Главным элементом акустического узла является пьезоэлектрический или магнитострикционный преобразователь энергии электрических колебаний в энергию механических упругих колебаний — вибратор. На рис. 14-5 изображен магнитострикционный вибратор *3*, в обмотку *2* которого подается ток ультразвуковой частоты. Колебания вибратора, который попеременно удлиняется и укорачивается с ультразвуковой частотой в направлении магнитного поля обмотки, усиливаются концентратором *7* (акустическим волноводом), присоединенным к торцу вибратора. К концентратору крепится стальной инструмент *8* так, чтобы между его торцом и обрабатываемой деталью *9* оставался зазор. Вибратор помещается в эбонитовый кожух *5*, охлаждаемый по трубкам *4* и *6* водой.

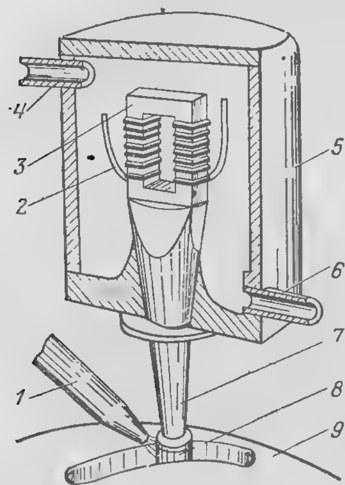


Рис. 14-5. Акустический узел ультразвукового станка.

При обработке отверстия инструмент *8* должен иметь форму заданного сечения отверстия. В пространство между торцом инструмента и обрабатываемой поверхностью детали из сопла *1* подается жидкость, в которой взвешены абразивные зерна. От колеблющегося торца инструмента зерна абразива приобретают большую скорость, ударяются о поверхность детали и выбивают из нее мельчайшую стружку. По мере снятия слоев материала происходит автоматическая подача инструмента. Абразивная жидкость подается в зону обработки под давлением и вымывает отходы обработки.

Промышленностью выпускаются различные ультразвуковые станки, например прошивочные станки моделей 4770, 4773А, универсальный станок модели 100А и др. С помощью ультразвуковой технологии можно выполнять такие операции, как прошивка, долбление, сверление, резание, шлифование и т. д.

Ультразвуковые ванны применяют для очистки поверхностей металлических деталей от продуктов коррозии, пленок окислов, минеральных масел и т. п. Работа ультразвуковой ванны основана на использовании эффекта местных гидравлических ударов, возникающих в жидкости под воздействием ультразвука. Устройство ультразвуковой ванны схематически показано на рис. 14-6. Обрабатываемая деталь *7* погружается (подвешивается) в бачок *4*, заполненный жидкой моющей средой *6*, внутри которой от излучающего элемента *3* (диафрагмы) распространяются волны ультразвуковых колебаний *5*. Диафрагма соединена с магнитострикционным вибратором *2*. Бачок установлен на подставке *1*.

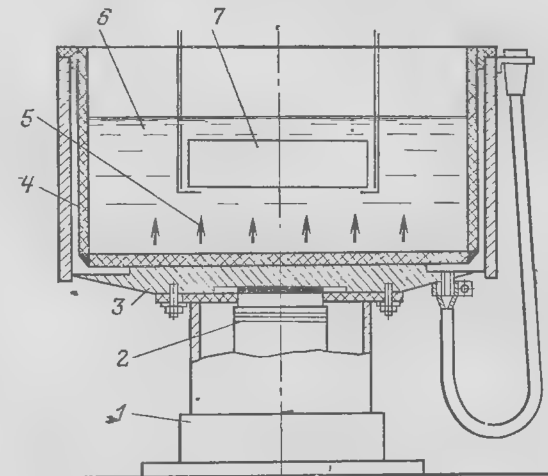


Рис. 14-6. Ультразвуковая ванна.

Аппаратура ультразвуковых установок сравнительно дорога, поэтому экономически целесообразно применять ультразвуковую очистку небольших по размеру деталей только в условиях массового производства.

Глава пятнадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ СТАНКОВ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

15-1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММНОМ УПРАВЛЕНИИ СТАНКАМИ

Понятием программное управление станками охватывают обычно такие способы автоматизации станков, которые обеспечивают управление работой станка по заранее подготовленным программам, причем одну программу можно легко заменять другой без трудоемкой переналадки станка. Носителями программы в этих случаях служат наборы переключателей, бумажные перфокарты и перфоленты, магнитные ленты и т. п.

Применение программного управления дает значительный экономический эффект, особенно в мелко- и среднесерийном производстве, и позволяет высвободить большое число универсальных станков и высококвалифицированных рабочих. На станках с программным управлением автоматически в нужной последовательности осуществляются поступательные и вращательные движения рабочих органов: вращение шпинделя с заданными скоростями в течение определенных интервалов времени, точная установка рабочих органов на заданные позиции, рабочие подачи на заданных участках пути, вспомогательные перемещения суппортов, столов, поворот на определенный угол револьверных головок и т. д.

Совокупность автоматических устройств, реализующих программное управление станком, называют системой программного управления (СПУ). При этом различают системы циклового и числового программного управления.

Системы циклового программного управления (СЦПУ) — это наиболее простые СПУ. В таких системах для цикла обработки детали программируют последовательность и направления движений рабочих органов станка, т. е. ускоренных перемещений и движений подачи, используемых при обработке данной детали, скорости подач и главного движения. Перемещения рабочих органов, необходимые для получения заданных геометрических размеров обрабатываемой детали, устанавливают, передвигая вручную упоры, нажимающие на путевые переключатели. Программа в СЦПУ обычно задается при помощи различных устройств типа штекерных панелей, наборов переключателей или кнопок, многопозиционных барабанов и т. п. Системы такого рода используют для токарно-револьверных, некоторых фрезерных, токарных и других станков.

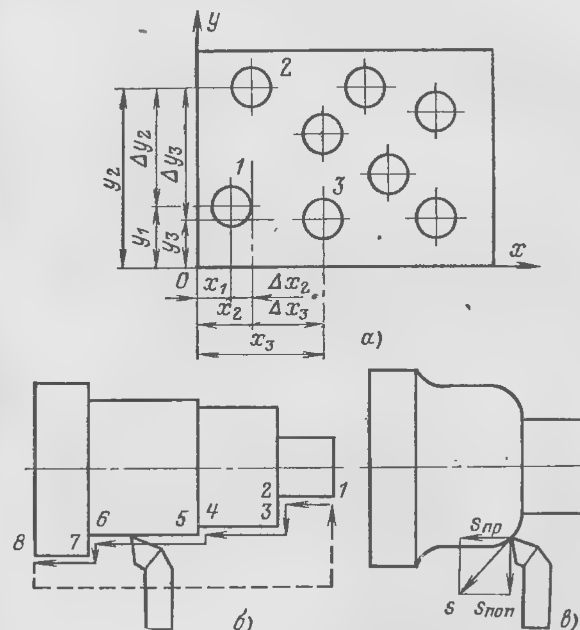


Рис. 15-1. Виды обработки при использовании позиционных (*а*), прямоугольных (*б*) и контурных (*в*) систем ЧПУ.

Для *систем числового программного управления* (СЧПУ) применяют числовое задание программы, т. е. в форме совокупности чисел, характеризующих последовательность и необходимые перемещения рабочих органов станка, а также скорости этих перемещений. Программу тем или иным способом записывают на программоносителе — бумажной перфорированной ленте, перфокарте или на магнитной ленте. Все СЧПУ делят на три группы: позиционные, прямоугольные и контурные системы.

Позиционные системы предназначены для установки (позиционирования) инструмента (или детали) в определенной последовательности в заданные положения — позиции, характеризуемые их координатами на плоскости или в пространстве. Подобные системы используют на сверлильных, расточных и других станках.

Предположим, что на координатно-сверлильном станке требуется обработать отверстия детали, показанные на рис. 15-1, *а*. Каждое отверстие в программе задано двумя числами — координатами его центра относительно базовых координатных осей x и y, например отверстие *1* — координатами x_1, y_1. Если после обработки отверстия *1* нужно переместить инструмент в позицию *2*, то программой задаются координаты x_2, y_2 или приращения координат Δx_2, Δy_2. Перемещения по каждой из координат могут отрабатываться одновременно или последовательно с одинаковыми или различными скоростями. Траектория движения инструмента из позиции *1* в позиции *2*, *3* и т. д. может быть любой; важно, чтобы инструмент с заданной точностью был перемещен на новую позицию.

Системы с прямоугольным формообразованием (прямоугольные) используются при обработке деталей ступенчатой формы, например валов на токарном станке (рис. 15-1, *б*). Здесь также программируют отдельные заданные точки плоскости *1*, *2*, *3*, ..., *8*, но продольная и поперечная подачи разделены во времени, т. е. включаются последовательно. Такие системы обеспечивают и позиционирование как частный случай. Применяют их на ряда расточных, токарных, фрезерных станках.

Очевидно, что упомянутые выше системы циклового управления выполняют по существу те же функции, что и прямоугольные системы числового управления.

В системах с криволинейным формообразованием (контурных) программируется не только перемещение по каждой координате, но и закон перемещения. Системы используют на токарных и фрезерных станках для обработки фасонных поверхностей. Например, при токарной обработке тел вращения (рис. 15-1, *в*) подача s резца в каждый момент времени получается сложением продольной $s_{пр}$ и поперечной $s_{поп}$ подач. Контурные системы выполняют также функции прямоугольных и позиционных систем.

Таблица 15-1

Составление программы обработки плоского кулачка

Относительное расположение фрезы и кулачка	L_i	Δl_i	N_i
1	2	3	4
Кулачок, Фреза, 0°, L_0	100	0	0
2°, L_1	99,9	0,1	10
4°, L_2	99,7	0,2	20

Сущность способа числового задания программы применительно к контурной системе рассмотрим на простейшем примере обработки фрезой профиля плоского кулачка (см. рисунки в первом столбце табл. 15-1). Траектория движения фрезы представляется в виде ряда последовательных положений ее (опорных точек). Каждое из этих положений характеризуется расстоянием между осью фрезы и осью кулачка. Сам кулачок при обработке поворачивается вокруг своей оси. В промежутках между опорными точками фреза может перемещаться по траектории, несколько отличной от заданной. Однако, выбрав соответствующее число опорных точек, можно свести это отличие до минимума, обеспечивающего необходимую точность.

Существует несколько способов записи программы. Самый простой из них — запись на движущемся с постоянной скоростью программоносителе: в виде цепочки отверстий — на перфоленте или намагниченных штрихов — на магнитной ленте. Каждая из таких отметок на ленте соответствует определенному перемещению инст-

румента, в рассматриваемом случае — перемещению оси фрезы. Этот способ называют записью программы в унитарном коде.

Пользуясь чертежом кулачка и зная диаметр фрезы, будем находить расстояния L_i между осями кулачка и фрезы при повороте кулачка на один и тот же угол, допустим, на 2° (за исходное примем положение, когда оси фрезы и кулачка лежат на одной горизонтали). Затем определим приращения Δl_i расстояний между осями фрезы и кулачка за время поворота кулачка на угол 2°: $\Delta l_1 = L_1 - L_0$, $\Delta l_2 = L_2 - L_1$ и т. д. Таким образом, будут найдены все опорные точки траектории фрезы, и результаты расчета представятся во втором и третьем столбцах табл. 15-1. Выбрав достаточно малую элементарную единицу перемещения, например 0,01 мм, и разделив на нее величины Δl_i, получим ряд чисел N_i, которые заносим в четвертый столбец таблицы. Совокупность чисел N_i и представляет собой программу работы станка, записанную в числовом виде — в данном случае в унитарном коде.

Далее программа переносится, например на бумажную ленту. На каждом i-м участке ленты, соответствующем при ее движении повороту кулачка на угол 2°, по одной дорожке ленты пробиваются отверстия. Число их равно N_i. Каждое отверстие в процессе работы станка будет вызывать перемещение фрезы в данном случае на 0,01 мм. Частота следования отверстий на ленте определяет скорость перемещения фрезы. Если направление движения должно измениться на противоположное, то используется пробивка отверстий на второй дорожке ленты.

Если, например, обработка кулачка производится путем одновременного перемещения фрезы по двум координатам x и y, а сам кулачок остается неподвижным, то принцип записи программы сохраняется тем же. Но в этом случае используются уже четыре дорожки ленты, две для координаты x, две других для координаты y. На каждом i-м участке ленты, т. е. для интервала времени Δt_i, пробивается N_{xi} и N_{yi} отверстий, соответствующих перемещениям Δx_i и Δy_i.

Очевидно, по рассмотренному принципу можно составить программы для позиционных и прямоугольных систем ЧПУ, исходя из расстояний L_x и L_y, отсчитываемых от некоторого начала координат или их приращений Δl_x и Δl_y по отношению к начальной точке с координатами L_{x0} и L_{y0}.

Унитарный код отличается простотой и удобен для непосредственного управления приводами станка. Однако он имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что при записи в этом коде может потребоваться перфолента очень большой длины. Используя в качестве программоносителя магнитную ленту с записанными на ней штрихами (импульсами) — аналогами отверстий на перфоленте, удается получить несравненно более плотную запись. Программа, записанная в унитарном коде, относится к типу так называемых декодированных программ.

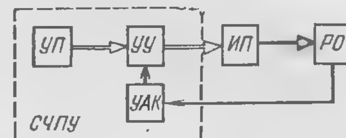


Рис. 15-2. Общая структурная схема управления станком с ЧПУ.

В настоящее время, как правило, применяют при записи программы на перфоленту или перфокарту специальные числовые коды, позволяющие существенно сократить длину программоносителя. Такие программы называются кодированными.

Таким образом, при числовом представлении программы она рассчитывается и задается в форме отдельных, определенным образом закодированных сигналов — команд. Программа определяется числом сигналов и изменением этого числа с течением времени по мере перемещения рабочих органов станка. Переналадка станка с обработки одной детали на обработку другой заключается лишь в смене программоносителя, на котором записана нужная программа.

В общем виде структурная схема управления станком с числовым программным управлением (ЧПУ) показана на рис. 15-2. В этой схеме: *УП* — узел программы; *УУ* — узел управления; *ИП* — исполнительные приводы; *РО* — рабочие органы станка; *УАК* — узел активного контроля (обратная связь). Программа работы станка, заданная в числовом виде, поступает в *УП*. В этом узле для реализации заданной программы команды, записанные на программоносителе, должны быть

«прочитаны». С этой целью *УП* снабжается специальными считывающими устройствами, которые в зависимости от способа записи программы представляют собой набор щупов, фотоэлементов или магнитных головок. По мере выполнения команд программоноситель должен непрерывно или периодически перемещаться относительно считывающего устройства.

В считывающем устройстве все воспринятые команды (т. е. информация, необходимая для выполнения станком заданного технологического процесса) преобразуется в электрические импульсы, которые направляются в узел управления *УУ*, где происходит расшифровка команд, если те были кодированными. Кроме того, при необходимости производится пополнение и уточнение команд программы, их переработка, а также преобразование в такую форму, которая была бы пригодна для управления исполнительными приводами *ИП*. Последние осуществляют движения рабочих органов *РО* станка согласно заданной программе.

В замкнутых СЧПУ результаты измерения фактического выполнения программы при помощи узла активного контроля *УАК* преобразуются в электрические сигналы, направляемые в *УУ*. Здесь сигналы, поступающие из *УП* и *УАК*, сравниваются, т. е. заданная программа сопоставляется с фактической, которая отрабатывается станком. На основании такого сравнения узел управления, воздействуя на *ИП*, стремится устранить возникающие расхождения между заданной и фактической программами.

В разомкнутых СЧПУ обратная связь, т. е. элемент *УАК*, отсутствует. Поэтому разомкнутые системы в принципе дают меньшую точность обработки деталей по сравнению с замкнутыми системами. Однако их большое достоинство — простота.

15-2. СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Цикл обработки детали состоит из совокупности основных и вспомогательных движений, повторяющихся при обработке каждой аналогичной детали. Его можно разделить на несколько этапов, на каждом из которых осуществляются определенные перемещения рабочих органов при заданных режимах обработки. Для каждого этапа требуется в общем случае своя схема управления

электроприводами станка. Она включает в себя аппараты и приводы, одни из которых работают на всех этапах, а другие — на некоторых из них или только на данном этапе (например, путевые переключатели, приводы поперечной или продольной подачи, приводы ускоренных перемещений и т. д.). Если на станке могут осуществляться различные виды и циклы обработки, то соответственно должно быть обеспечено получение необходимого числа отдельных схем, удовлетворяющих всем возможным случаям. Программирование при цикловом управлении производится путем предварительного выбора таких сочетаний отдельных схем, которые потребуются для данного цикла обработки. Специальное устройство вводит эти схемы в работу в нужной последовательности.

В цикловых системах размеры, как правило, контролируются малогабаритными путевыми переключателями, на которые воздействуют расставляемые в нужных местах упоры. Путевые переключатели объединяются в блоки для каждого вида перемещения (продольного, поперечного, вертикального, кругового и т. п.). Применяют также и путевые командоаппараты.

Приводы главного движения и подач в станках с цикловым управлением обычно выполняются от асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (иногда многоскоростных для главного движения) со ступенчатым регулированием угловой скорости. Управление подачами осуществляется при помощи электромагнитных муфт, включаемых контакторами.

Рассмотрим один из наиболее распространенных способов циклового программирования, основанный на использовании штекерных коммутаторов для предварительного набора программы и шагового искателя телефонного типа для ее поэтапного ввода.

Схема панели штекерного коммутатора приведена на рис. 15-3. Коммутатор состоит из горизонтальных и вертикальных цепей и гнезд, каждое из которых имеет по две половинки, присоединенные соответственно к горизонтальной и вертикальной цепям. Эти цепи можно соединить между собой, вставив в гнездо штырь (штекер). В вертикальные цепи включены катушки промежуточных реле *РП1—РП15*, горизонтальные цепи соединены с контактами шагового искателя *ШИ*, по которым перемещается его щетка. Вставляя штыри в соответст-

вующие гнезда, выбирают нужную последовательность включения тех или иных промежуточных реле по этапам цикла. Первому этапу отвечает позиция *1* щетки искателя, второму — позиция *2* и т. д. Щетка автоматически передвигается на следующую позицию после окончания каждого этапа. Промежуточные реле *РП1—РП15* при их включении в определенной комбинации своими контактами собирают необходимую на каждом этапе схему управления.

Реле *РП1—РП15* сгруппированы по их назначению. В качестве примера на рис. 15-3 показан вариант управления токарным станком. Станок имеет продольное и поперечное рабочие и ускоренные перемещения суппорта (выбор направления и вида перемещения — при помощи реле *РП1—РП4* и *РП5—РП8*); возможно переключение с рабочей подачи на медленную (реле *РП9*, *РП10* и *РП11*, *РП12*); шпиндель имеет две ступени угловой скорости (реле *РП13*, *РП14*). Указанной на рисунке расстановкой штырей в гнезда запрограммирован следующий цикл: 1) быстрый продольный подвод суппорта к детали; 2) включение 1-й скорости шпинделя и переключение на рабочую продольную подачу; 3) переключение на медленную подачу в конце перехода; 4) отключение продольной подачи и быстрый поперечный отвод суппорта; 5) отключение поперечного движения и быстрый продольный отвод суппорта; 6) отключение продольного движения и быстрое поперечное перемещение суппорта; 7) переход на медленную поперечную подачу; 8) отключение поперечного перемещения в исходном положении.

Все включения и переключения подач и ускоренных перемещений, реверсирование этих движений обычно осуществляются в кинематических цепях станка при помощи электромагнитных муфт и электромагнитов. Для повышения точности остановки иногда применяют тормозные электромагнитные муфты.

Работа программного устройства начинается после подачи напряжения на его схему. На каждом этапе в конце его срабатывает соответствующий путевой переключатель, своим контактом он включает электромагнит шагового искателя, и щетка искателя делает «шаг», перемещаясь на следующую позицию. В конце цикла на позиции *8* щетки включается реле окончания цикла *РП15* и отключает всю схему управления станком, а

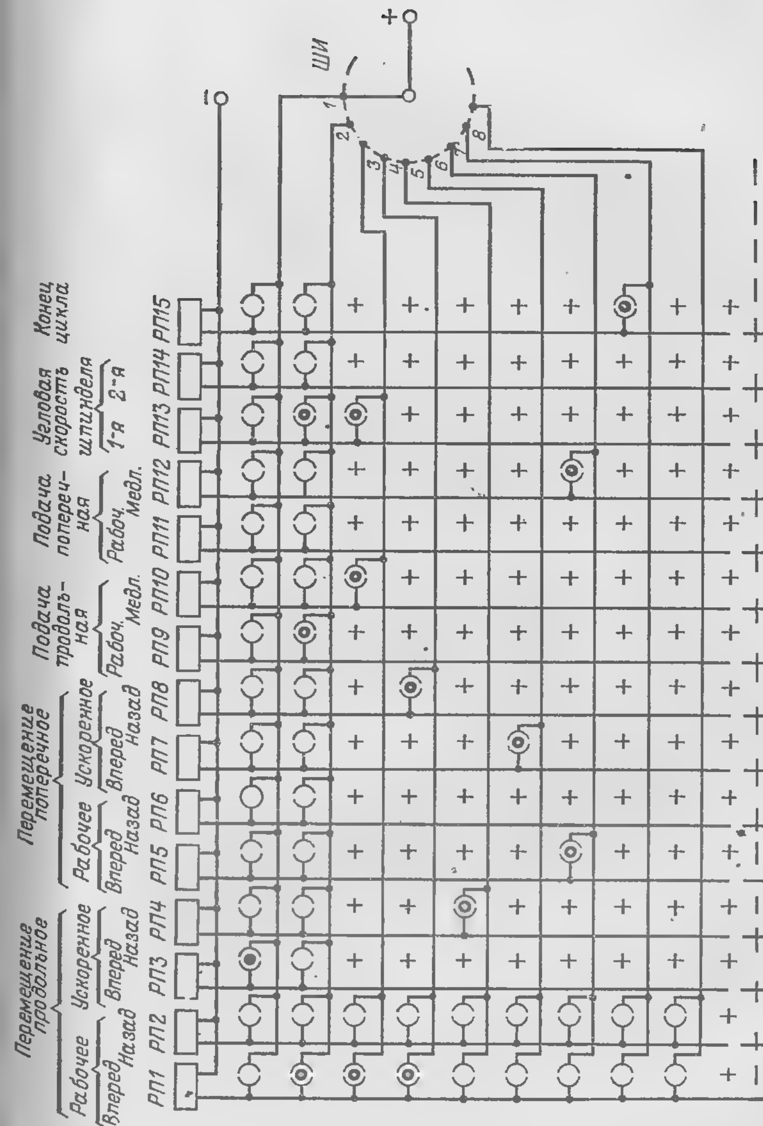


Рис. 15-3. Схема программного устройства со штекерным коммутатором и шаговым искателем.

щетка шагового искателя возвращается в позицию *1*. Программное устройство готово к работе в следующем цикле.

Для упрощения задания программы используют накладные перфокарты. Их накладывают на панель штекерного коммутатора, а штыри вставляют в гнезда через отверстия в перфокарте. Отверстия в перфокартах пробивают специальным дыроколом или вручную пробойником.

Вместо штекерных коммутаторов в ряде случаев устанавливают панели из рядов переключателей или кнопок с фиксацией. Назначение горизонтальных и вертикальных рядов переключателей или кнопок аналогично назначению рядов штекерного коммутатора.

Для поэтапного ввода программы применяют также счетные схемы из контактных реле. Иногда используют барабаны с переставными кулачками, установленными на поверхности барабана и воздействующими на микропереключатели, а также ряд других устройств. Все большее распространение получают программируемые бесконтактные командоаппараты серии УЛП (см. § 13-3).

15-3. ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ СТАНКОВ С ЧПУ

Электроприводы главного движения станков с ЧПУ выполняются обычно с электромеханическим регулированием скорости, т. е. с несколькими механическими ступенями, переключаемыми при помощи электромагнитных муфт и ступенчатым или бесступенчатым электрическим регулированием в пределах каждой ступени.

Электроприводы подачи станков с ЧПУ можно разделить на четыре группы: приводы со ступенчатым механическим регулированием скорости, с бесступенчатым электрическим регулированием в широком диапазоне, следящие и следяще-регулируемые, с шаговыми двигателями. Первые три группы приводов используются в системах с обратной связью по положению рабочего органа, т. е. в замкнутых системах.

Электропривод подачи со ступенчатым механическим регулированием (рис. 15-4, *а*) используют, как правило, в позиционных и прямоугольных системах ЧПУ с обратной связью. Для переключения скоростей подачи применяют электромагнитные муфты. Движение рабочей подачи начинается после включения от *СЧПУ* электромагнитной муфты *Эм1*. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором *Д* приводит во вращение ходовой винт *ХВ*, и стол *С* (или суппорт, шпиндельную бабку и т. п.) начинает поступательное перемещение. При этом от датчика положения *ДП* по каналу обратной связи *ОС* в *СЧПУ* поступают сигналы о пройденном пути. При под-

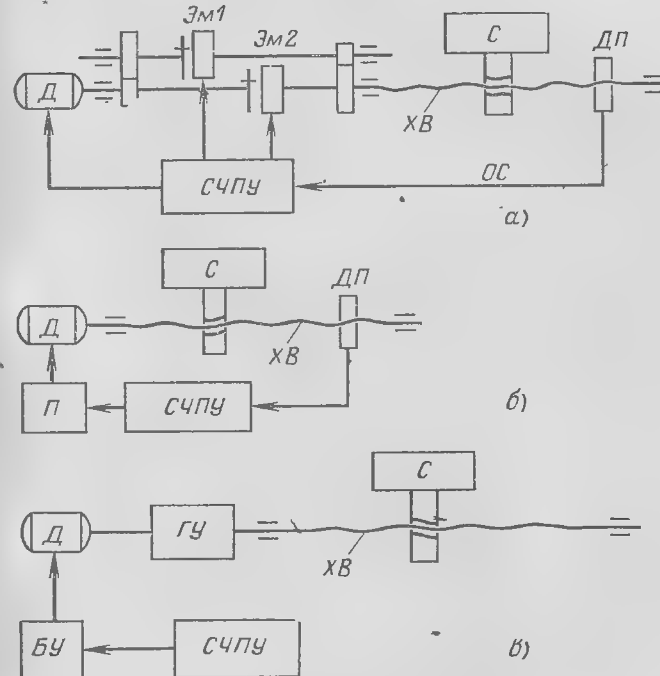


Рис. 15-4. Схемы приводов подачи станков с ЧПУ.

ходе стола к конечному (по программе) положению *СЧПУ* выдает команду на отключение муфты *Эм1* и на включение электромагнитной муфты *Эм2*, что вызывает переход на медленное доводочное перемещение стола. По достижении столом заданного положения следует сигнал от *СЧПУ* на отключение муфты *Эм2*, и стол *С* останавливается. В такой схеме часто используют электрическое или электромеханическое торможение для повышения точности остановки.

Если для привода подачи в позиционной или прямоугольной системе ЧПУ применен двигатель *Д* с широ-

ким диапазоном регулирования угловой скорости благодаря питанию его от управляемого преобразователя *П*, то схема привода будет иметь вид, показанный на рис. 15-4, *б*.

По той же схеме в принципе выполняются следящие и следяще-регулируемые приводы подачи, применяемые в контурных системах ЧПУ. При наличии следящего привода *СЧПУ* подает на преобразователь *П*, а значит, и на двигатель *Д* сигнал, который определяется заданной скоростью подачи и разностью между заданным и фактическим перемещением. Такая система привода не только отрабатывает заданное полное перемещение рабочего органа станка (стола *С* в данном примере), но и воспроизводит любой заданный закон изменения этого перемещения во времени. Следяще-регулируемый привод отличается от следящего тем, что при определенном значении перемещения начинает работать как обычный регулируемый привод, обеспечивая заданную скорость подачи на оставшейся части общего перемещения.

На рис. 15-4, *в* показана схема шагового привода подачи. В этом случае в качестве двигателя *Д* используется так называемый шаговый двигатель. От обычных двигателей он отличается тем, что при получении от *СЧПУ* через блок управления *БУ* командного импульса поворачивает свой вал на некоторый малый угол — шаг. Число импульсов определяет значение перемещения, а их частота — скорость подачи. Развиваемый шаговым двигателем момент часто недостаточен для перемещения подвижного элемента станка. Поэтому шаговый двигатель работает в подобных случаях совместно с гидроусилителем момента *ГУ*, который представляет собой мощный гидродвигатель. Шаговый двигатель воздействует на золотниковое устройство гидродвигателя. Как правило, системы с шаговыми двигателями выполняются без обратной связи по положению, т. е. разомкнутыми. Они используются для станков с любыми *СЧПУ*.

Для следящих приводов станков с ЧПУ большое значение имеет быстродействие двигателя. Оно оценивается отношением вращающего момента *М*, развиваемого двигателем, к моменту инерции *J* якоря (ротора) двигателя. Разработан ряд конструкций специальных двигателей постоянного тока, у которых это отношение намного больше, чем у двигателей обычного исполнения. Например, высокомоментный двигатель серии ПБВ (рис.

15-5) выполнен с возбуждением от постоянных ферритовых магнитов (*N* и *S*), что резко уменьшает потери в двигателе и позволяет значительно сократить его размеры и массу. Двигатель обычно изготовляют со встроенным тахогенератором, а в некоторых конструкциях предусматривают установку тормоза, который автоматически фиксирует ротор при снятии питания. Таки-

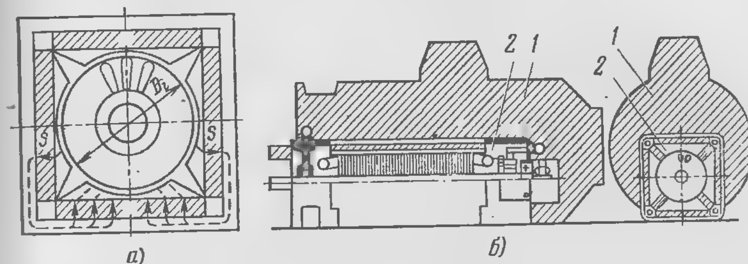


Рис. 15-5. Высокомоментный двигатель с ферритовыми магнитами.

а — схема магнитной системы двигателя; *б* — сопоставление по габаритам высокомоментного двигателя *2* с двигателем электромагнитного возбуждения *1* [при одинаковых моментах двигателей (30 Н·м) и угловых скоростях (100 рад/с)].

ми двигателями оснащены комплектные тиристорные приводы ЭТ3С16 на мощности от 0,75 до 5,5 кВт при угловой скорости 100 рад/с.

У двигателя с гладким (беспазовым) якорем (рис. 15-6, *а*) обмотка якоря, который имеет малый диаметр, уложена в несколько слоев на поверхность якоря и залита эпоксидной смолой с ферромагнитным наполнителем. Каждый слой обмотки стянут лентой из стеклоткани. Благодаря отсутствию зубцов на якоре магнитный поток двигателя увеличен вдвое по сравнению с двигателем обычного исполнения. Двигатель имеет увеличенный зазор, что уменьшает индуктивность якорной обмотки и, следовательно, ускоряет протекание переходных процессов нарастания и спадания тока в цепи якоря. Такая конструкция позволяет облегчить работу коллектора и улучшить охлаждение якоря. Это дало возможность повысить максимальный вращающий момент двигателя примерно в 4 раза и уменьшить момент инерции более чем в 10 раз по сравнению с двигателями обычного исполнения. Для возбуждения двигателей с гладким якорем применены постоянные магниты с особо высокими

значениями остаточной магнитной индукции. Питание якоря осуществляется от тиристорного преобразователя. Двигатели такой конструкции серии ПГТ (со встроенными тахогенераторами) выпускаются на мощности от 90 Вт до 9 кВт, напряжения до 220 В и номинальную угловую скорость 300 рад/с.

Двигатель с печатным якорем (рис. 15-6, *б*) имеет в одном из исполнений ротор *1* в виде диска из изоляци-

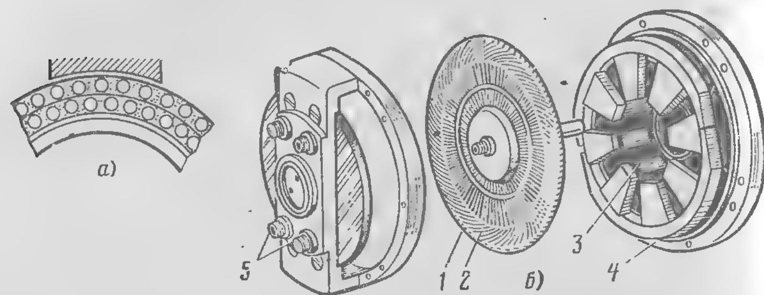


Рис. 15-6. Двигатели с гладким (*а*) и печатным (*б*) якорем.

онного материала, покрытого с обеих сторон тонким слоем металла. На этом покрытии при изготовлении ротора была отпечатана особой краской схема *2* проводников якоря и затем вытравлен весь металл, оставшийся непокрытым. Постоянные магниты *3*, создающие поток возбуждения двигателя, укреплены в подшипниковых щитах *4*. Щетки *5* непосредственно скользят по проводникам якоря, которые таким образом одновременно служат коллекторными пластинами. Благодаря такой конструкции момент инерции ротора и индуктивность обмотки якоря очень малы. Двигатели с печатным дисковым якорем выпускаются на мощности до нескольких десятков ватт, при 6 и 12 В и угловой скорости 300—350 рад/с. Разработаны также двигатели серии ПЯ с печатным цилиндрическим якорем (ротор двигателя представляет собой полый цилиндр из изоляционного материала). Такие двигатели выпускаются на мощности от 1 до 10 кВт при угловой скорости 300—360 рад/с и напряжении 110 В. Двигатели с печатным якорем также питаются от тиристорных преобразователей.

На рис. 15-7 показано устройство трехфазного индукторного реактивного шагового двигателя. В корпусе

1 двигателя помещен шихтованный статор, имеющий шесть полюсных выступов *4* с зубцами *2*, и реактивный зубчатый ротор *3*. Три обмотки управления двигателя находятся на полюсных выступах статора. Каждая из обмоток состоит из катушек, расположенных на четырех полюсных выступах, попарно противоположных. Обмотки управления в определенной последовательности подключаются к источнику постоянного тока. Между собой обмотки управления сдвинуты на один полюсный выступ, так что каждый полюсный выступ статора охватывается катушками смежных обмоток управления. В положении ротора, когда его зубцы соосны с зубцами одной диаметрально расположенной пары полюсных выступов статора, они смещены на $+1/3$ зубцового деления относительно зубцов второй пары полюсных выступов и на $-1/3$ зубцового деления относительно третьей пары полюсных выступов. Поэтому каждому переключению обмоток управления, когда ось результирующего магнитного потока статора поворачивается на $1/3$ зубцового деления, соответствует поворот ротора также на $1/3$ зубцового деления, т. е. на один шаг. Направление поворота зависит от очередности переключения обмоток. Если же включать попеременно то одну обмотку, то две обмотки сразу, шаг уменьшается вдвое.

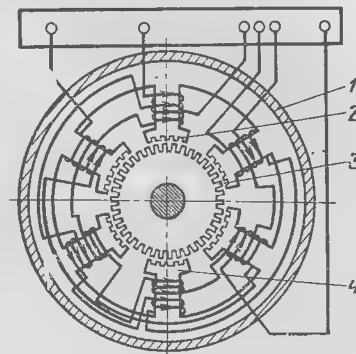


Рис. 15-7. Шаговый двигатель типа ШД-4.

Шаговые двигатели могут работать при их подключении к источнику импульсов с частотой до 8000 Гц и более. При больших частотах шагов прерывистость движения полностью сглаживается. Наибольшую частоту, при которой шаговый двигатель, начиная работать, не пропускает ни одного шага, называют частотой приемистости двигателя. Например, двигатель ШД-4 имеет частоту приемистости 800 Гц и наибольшую частоту 1200 Гц. Он предназначен для работы с напряжением 27 В и развивает момент 0,25 Н·м при наибольшей ча-

стоте. Подобные двигатели работают с гидроусилителями, которые развивают момент до 12—100 Н·м, а число отрабатываемых импульсов доходит до 1200 в секунду.

Выпускаются также силовые четырехфазные шаговые двигатели с максимальным моментом до 110 Н·м, не требующие применения гидроусилителей. Но частота приемистости у таких двигателей не более 200—450 Гц.

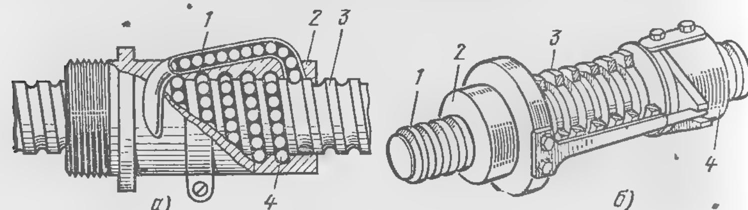


Рис. 15-8. Шариковые винтовые пары.

Включение обмоток шагового двигателя производится при помощи специального устройства — блока управления. Такой блок состоит из распределителя импульсов и усилителей мощности. Получая информацию от СЧПУ в виде сигналов унитарного кода, распределитель импульсов вырабатывает m-фазную систему прямоугольных управляющих импульсов напряжения, где m — число фаз шагового двигателя, и распределяет эти импульсы в нужной последовательности по обмоткам шагового двигателя. При этом управляющие импульсы перед поступлением в обмотки двигателя предварительно усиливаются транзисторными или тиристорными усилителями мощности.

В станках с числовым управлением передача движения от двигателя к рабочему органу осуществляется, как правило, при помощи пары винт-гайка. Для повышения точности такой передачи (а эта точность особенно необходима для разомкнутых систем с шаговыми двигателями) применяют шариковые винтовые пары (рис. 15-8). В конструкции, показанной на рис. 15-8, *а*, ходовой винт *3* и гайка *2* имеют совпадающие полукруглые винтовые канавки, заполненные по всей длине стальными шариками *4*. Эти шарики передают движение от винта к гайке. На шариковой гайке расположена трубка возврата *1*, по которой шарики перекатываются от конца гайки к началу. В такой паре трение скольжения заменено трением качения, что значительно повышает КПД пары и устраняет зазоры. Другой, более эффективной, является конструкция, показанная на рис. 15-8, *б*. Здесь на винте *1* помещены две шариковые гайки *2* и *4*, между которыми расположена сильная пружина *3*. Она создает предварительный натяг между винтом и гайкой, полностью устраняя зазор в винтовой паре.

15-4. СИСТЕМЫ ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Процесс изготовления детали на станке с числовым программным управлением включает в себя подготовку программы, ввод ее в систему управления станком и,

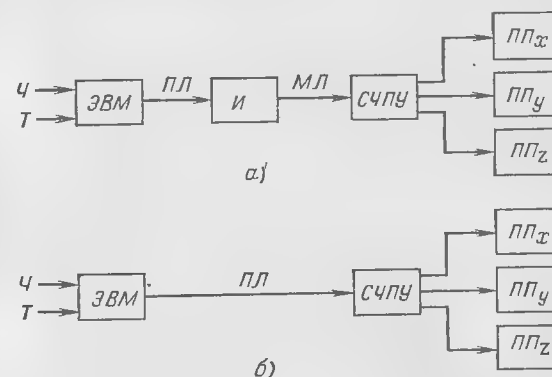


Рис. 15-9. Схемы числового программного управления.

наконец, отработку программы на станке. Организация этого процесса может быть построена по двум основным схемам, показанным на рис. 15-9.

По первой схеме (рис. 15-9, *а*) данные чертежа *Ч* детали и технологии *Т* ее обработки вводят в ЭВМ — цифровую электронно-вычислительную машину (цифровую ЭВМ), которая выдает кодированную программу на перфоленте *ПЛ*. В этой программе зафиксированы координаты опорных точек обрабатываемого контура детали и все другие необходимые команды. Перфолента *ПЛ* поступает в так называемый интерполятор *И* (специализированное вычислительное устройство). По заданным координатам опорных точек и заданному закону движения в промежутках между опорными точками интерпо-

лятор заменяет любой контур детали отрезками прямых или дуг окружности и производит определение координат многочисленных промежуточных точек (в настоящее время вместо интерполяторов широко применяют также малые универсальные электронные вычислительные машины — мини-ЭВМ). После этого выработанная интерполятором и декодированная (расшифрованная) программа записывается на магнитную ленту *МЛ*. Она и вводится в *СЧПУ* станка, которая выдает управляющие сигналы приводам подач станка $ПП_x$, $ПП_y$, $ПП_z$.

Вторая схема (рис. 15-9, *б*) относится к станкам с высокой степенью автоматизации. Здесь полученная от ЭВМ кодированная программа на перфоленте непосредственно вводится в *СЧПУ* станка. После интерполятора (или мини-ЭВМ), которые входят в данном случае в *СЧПУ* станка, сигналы декодированной программы без промежуточной записи на магнитную ленту подаются на приводы подачи $ПП_x$, $ПП_y$, $ПП_z$.

Запись и считывание программ. Принципы составления программы для станка с числовым управлением и формы записи ее в декодированном виде (в унитарном коде) на перфоленте или магнитной ленте были рассмотрены в § 15-1. В общем случае программа перемещений рабочих органов станка, выданная цифровой ЭВМ или рассчитанная вручную, представляется на перфоленте или в отдельных случаях на перфокарте в том или ином числовом коде.

Наиболее прост двоичный код, который имеет два знака: 1 и 0. При записи чисел на перфоленте в этом коде на месте каждого знака 1 пробивается отверстие. На месте знака 0 ленту не пробивают. В двоичной системе счисления любое число выражается комбинацией только двух цифр 0 и 1 (так как число 2 представляет собой единицу следующего разряда). Например, десятичное число 201 в двоичной системе выразится как

$$201 = 128 + 64 + 0 + 0 + 8 + 0 + 0 + 1 = 1 \cdot 2^7 + \\ + 1 \cdot 2^6 + 0 \cdot 2^5 + 0 \cdot 2^4 + 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + \\ + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 11001001.$$

Недостаток двоичной системы по сравнению с десятичной — примерно втрое большее количество знаков. Поэтому на практике применяют обычно двоично-десятичные коды, например код 8—4—2—1. В этом коде

цифры имеют двоичное обозначение, а все число записывается как десятичное. Каждую цифру десятичной системы при этом можно выразить в двоичном обозначении четырьмя знаками, т. е. на перфоленте для пробивки отверстий используются четыре дорожки. Так, на пятидорожечной ленте (рис. 15-10) пробивка на 1-й до-

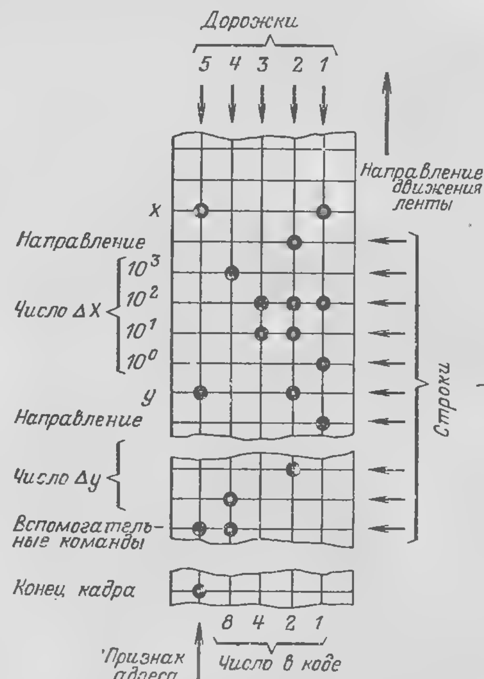


Рис. 15-10. Участок перфоленты с записью программы в коде 8-4-2-1.

рожке задает цифру 1, на 2-й — 2, на 3-й — 4 и на 4-й — 8. Таким образом, осуществляя в каждой строке ленты от одной до четырех пробивок, можно задать в строке любое число от 1 до 9. Подобным образом, используя необходимое число строк, можно задать любую числовую величину перемещения рабочего органа.

Каждому участку технологического цикла в программе отводится определенная совокупность строк перфоленты — кадр. Кроме перемещений на ленте или карте отмечаются соответствующими пробивками: направление движения рабочего органа, скорость, различные

вспомогательные команды. Для выделения участков цикла и «адресов» команд используется 5-я дорожка. Например, для программы, представленной на рис. 15-10, пробивка на 5-й дорожке в сочетании с пробивкой на 1-й дорожке этой же строки соответствует началу участка, на котором рабочий орган станка совершает движение вдоль оси x (адрес — «координата x»), пробивка на 5-й дорожке в сочетании с пробивкой на 2-й дорожке соответствует началу участка с движением вдоль оси y (адрес — «координата y») и т. д. На строке, следующей за признаком адреса, задается направление перемещения, например пробивка на 1-й дорожке — движение «вперед», на 2-й дорожке — движение «назад». Перемещение задается на следующих строках кадра, например, на рис. 15-10 задаио число:

$$\Delta x = 8761 = 8 \cdot 10^3 + 7 \cdot 10^2 + 6 \cdot 10^1 + 1 \cdot 10^0.$$

Конец участка фиксируется пробивкой на 5-й дорожке при отсутствии других пробивок в строке. Пробивки на 5-й дорожке в сочетании с пробивками на 3-й или 4-й дорожках отвечают вспомогательным командам.

В настоящее время для СЧПУ станков наиболее распространенным является международный код ISO-7bit (рис. 15-11). Для записи применяется восьмидорожечная перфолента шириной 25,4 мм. Здесь адресом совместно с подадресным числом задают перемещение по x, y, z, вид траектории (прямая, дуга окружности), скорость подачи и другие технологические и вспомогательные команды. Цифры представляются в коде 8—4—2—1.

Для записи на пяти- или восьмидорожечной телеграфной перфоленте используют автоматические перфораторы ПЛ-80, управляемые цифровой ЭВМ, или ручные перфораторы с клавишной системой, как у пишущей машинки. Оператор, читая таблицу с программой, нажимает на клавиши и пробивает отверстия. В случае ошибки отверстия заклеивают.

Считывание программы, записанной на перфоленте (или перфокарте), производится обычно при помощи контактного или фотоэлектрического устройства. В контактном устройстве (рис. 15-12, *а*) лента *4* перемещается по металлической контактной пластине *3*. Когда щетка *1* попадает в отверстие *2* перфоленты, цепь тока замыкается, срабатывает контактное или бесконтактное реле, и в интерполятор поступает соответствующий сиг-

Рис. 15-11. Программирование в коде ISO-7bit.

а — обозначение кода; *б* — запись на перфоленте (два кадра).

нал. В бесконтактном устройстве (рис. 15-12, *б*) свет лампы *5* через линзы *4* и отверстие *3* в перфоленте *2* освещает фоторезистор *1*. При этом сопротивление фоторезистора резко уменьшается, и включенное в его цепь реле срабатывает. Перфолента протягивается через считывающее устройство обычным путем перемотки с од-

ной кассеты на другую. Перфокарты накладывают на барабан или подают из специального бункера. Количество щеток или фоторезисторов в считывающем устройстве определяется числом дорожек перфоленты или перфокарты.

Преобразованная интерполятором (декодированная) программа для контурных СЧПУ записывается на маг-

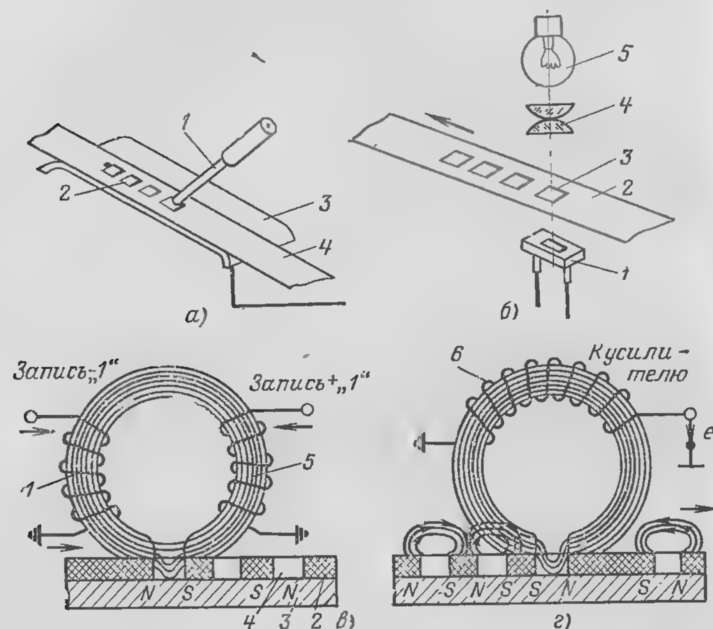


Рис. 15-12. Схемы считывающих устройств.

нитной ленте при помощи кольцевой магнитной головки (рис. 15-12, *в*) либо в виде последовательности командных импульсов, т. е. в унитарном коде, либо в форме так называемой фазовой записи синусоидальных или импульсных напряжений. При фазовой записи угол сдвига фаз управляющего напряжения относительно некоторого опорного напряжения задает величину и направление перемещения рабочего органа станка.

Когда через обмотку *1* записывающей магнитной головки проходит импульс постоянного тока, на ферромагнитном слое *2* ленты *3* возникают штрихи *4* попереч-

ного намагничивания. При пропускании тока через обмотку *5* на ленте появляется импульс противоположной полярности.

При воспроизведении записи на магнитной ленте последняя протягивается под считывающей магнитной головкой (рис. 15-12, *г*). Когда под головкой в зоне зазора проходит штрих записи, магнитный поток в сердеч-

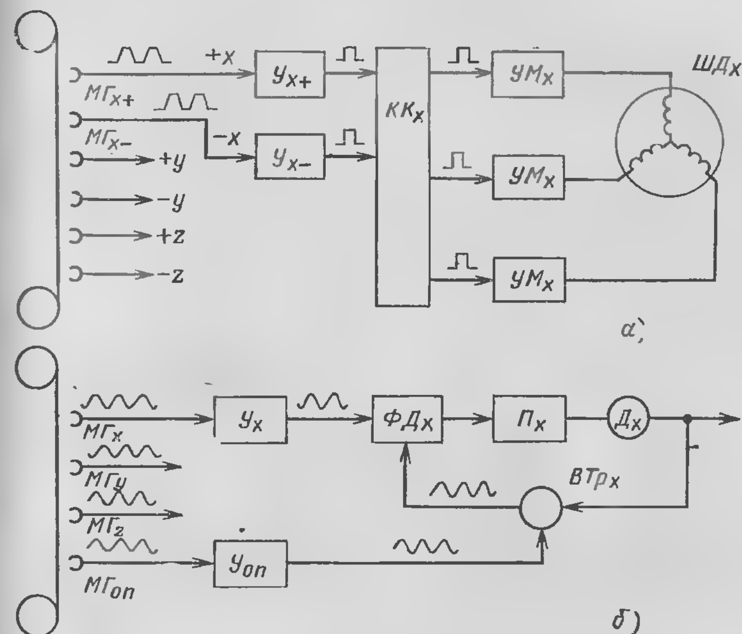


Рис. 15-13. Функциональные схемы импульсной (*а*) и фазовой (*б*) СЧПУ.

нике головки резко изменяется, что вызывает появление в обмотке *6* головки импульса ЭДС, которая далее усиливается и используется для управления.

Каждая магнитная головка предназначена для записи или считывания команд на одной дорожке магнитной ленты. При записи в унитарном коде обычно отводят по две дорожки для каждой координаты. При фазовой записи для каждой координаты предусматривается своя дорожка и, кроме того, еще одна дорожка используется для записи вспомогательных команд. Таким образом, в за-

писывающем или считывающем устройстве устанавливается блок магнитных головок, количество которых определяется числом используемых дорожек магнитной ленты.

Контурные СЧПУ с записью программы на магнитной ленте. Как отмечалось ранее, такие СЧПУ работают по декодированным программам. Запись в унитарном коде используется для станков с шаговыми двигателями, фазовая запись — для станков со следящими приводами.

Функциональная схема СЧПУ с программой в унитарном коде (такие системы называют импульсными) показана на рис. 15-13, *а* (для одной координаты *x*). В этой системе магнитные головки $МГ_{x+}$, $МГ_{x-}$ считывают с магнитной ленты записанные на ней импульсы и направляют их в усилители $У_{x+}$, $У_{x-}$ и далее в кольцевой электронный коммутатор $КК_x$. Коммутатор распределяет импульсы по обмоткам шагового двигателя $ШД_x$ (в данном случае трехфазного), при этом каждый управляющий импульс предварительно усиливается усилителем мощности $УМ_x$. В ответ на каждый поступивший импульс шаговый двигатель отрабатывает элементарное перемещение — шаг. Число импульсов определяет перемещение, а частота их следования — скорость подачи. Системы управления по двум другим координатам *y* и *z* построены аналогично.

Функциональная схема СЧПУ с фазовой записью программы (фазовой СЧПУ) изображена на рис. 15-13, *б* (также для одной координаты *x*). На четырех дорожках магнитной ленты нанесены записи синусоидальных напряжений. Они соответственно считываются магнитными головками $МГ_x$, $МГ_y$, $МГ_z$ и $МГ_{оп}$. Напряжение задающего сигнала для координаты *x* подается от головки $МГ_x$ на усилитель $У_x$ и после него в так называемый фазовый детектор $ФД_x$. Сдвиг фазы $\Delta\varphi_{з,x}$ синусоиды задающего сигнала относительно опорного напряжения при записи, как отмечалось выше, определяет требуемое перемещение. Одновременно головкой $МГ_{оп}$ считывается напряжение опорного сигнала, которое через усилитель $У_{оп}$ подается на входные обмотки датчика обратной связи по перемещению — так называемого вращающегося трансформатора $ВТр_x$. С выходных обмоток $ВТр_x$ снимается синусоидальное напряжение, сдвиг фазы которого $\Delta\varphi_{ф,x}$ по отношению к опорному напряжению пропорционален углу поворота ротора $ВТр_x$, т. е. фактическому перемещению рабочего органа станка по координате *x* (вращающийся трансформатор — микромашина переменного тока, на статоре и роторе которой расположены по две взаимно перпендикулярные обмотки: входные — на статоре и выходные — на роторе). Напряжение с выходных обмоток $ВТр_x$ подается на второй вход фазового детектора $ФД_x$.

Таким образом, на входы фазового детектора данной координаты поступают два синусоидальных сигнала; один из них определяет заданное перемещение значением угла $\Delta\varphi_{з,x}$, другой — фактическое перемещение значением $\Delta\varphi_{ф,x}$. В $ФД_x$ эти сигналы сравниваются, и в зависимости от значения и знака разности $\delta_x = \Delta\varphi_{з,x} - \Delta\varphi_{ф,x}$ вырабатываются сигналы управления для привода перемещения по координате *x*. Привод выполнен с питанием двигателя $Д_x$ от преобразователя $П_x$. Получая сигнал δ_x, привод перемещает рабочий орган так, чтобы рассогласование между заданным и фактическим положениями рабочего органа исчезло. Аналогично выполнены и работают узлы СЧПУ для других координат.

Недостатки СЧПУ с записью на магнитной ленте: нельзя исправить или изменить изготовленную программу; велик расход магнитной ленты при больших перемещениях, поэтому все более расширяется применение СЧПУ, в которые встроены интерполяторы или мини-ЭВМ, т. е. по схеме на рис. 15-9, *б*, когда программа вводится в СЧПУ в кодированном виде на перфоленте.

Позиционные и прямоугольные СЧПУ с кодированными программами. В этих системах программа вводится в кодированном виде с записью на перфоленте или перфокарте. Интерполяторы для таких систем не нужны. Вместо них используются различного рода счетные устройства, сумматоры и регистры для хранения чисел. Как правило, все эти устройства выполнены на основе триггерных ячеек с полупроводниковыми приборами.

По принципу работы различают позиционные и прямоугольные СЧПУ с датчиками обратной связи, т. е. замкнутые и разомкнутые.

Замкнутые системы имеют датчик обратной связи, преобразующий перемещения рабочего органа либо в форме последовательности импульсов, каждый из которых отвечает элементарному перемещению (шагу), либо в форме числового кода. Принцип действия одного

из наиболее распространенных датчиков обратной связи иллюстрируется на рис. 15-14. Диск *1* датчика механически соединен с подвижным узлом станка. Диск (металлический) имеет радиальные прорези. При его вращении поток света от лампы *2*, падающий на фотоэлемент *3*, периодически прерывается. Поэтому от фотоэле-

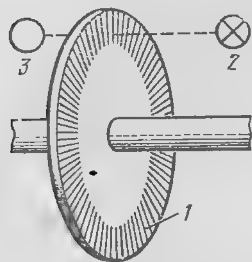


Рис. 15-14. Фотоэлектрический датчик обратной связи.

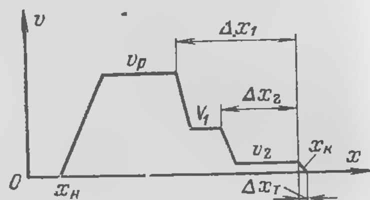


Рис. 15-15. Графики изменения скорости подачи при работе станков с позиционными и прямоугольными СЧПУ.

мента в систему управления поступают импульсы тока, которые и используются в качестве сигналов обратной связи.

В управляющем устройстве системы есть узел сравнения, в котором сравнивается число заданных элементарных шагов с числом фактически отработанных. Когда заданное перемещение будет отработано, система выдаст команду на останов исполнительному приводу.

Скорости и направления перемещений задаются отдельными командами. Кроме того, обычно применяется снижение скорости подачи при подходе рабочего органа к заданной точке. На рис. 15-15 приведены графики скорости v в зависимости от перемещения x. Показан случай, когда координата $x_н$ начального положения рабочего органа меньше, чем заданного конечного положения $x_к$. Привод включается в точке $x_н$. Он разгоняется до заданной скорости $v_р$, затем следует движение с этой скоростью; за $\Delta x_1 \approx 10$ мм до конечного заданного положения скорость снижается до значения v_1, а затем за Δx_2 — до «ползучей» скорости v_2. Величину v_2 подбирают экспериментально при наладке станка так, чтобы погрешность за счет тормозного пути $\Delta x_т$ не превышала допустимую.

В разомкнутых позиционных и прямоугольных СЧПУ используются шаговые двигатели. Здесь управляющее устройство имеет счетчик, который считает импульсы, подаваемые на двигатель. Когда счетчик переполняется (т. е. отсчитано заданное число импульсов), подача импульсов прекращается, и двигатель останавливается.

Системы числового программного управления изготовляют на специализированных заводах. Конструктивно они выполняются из унифицированных узлов в виде отдельных пультов управления. В позиционных системах наибольшее распространение получили пульты управления «Координата С-70» (рис. 15-16) — для сверлильных станков, «Координата Р-69» — для координатно-расточных станков, «Размер 2М» — для тяжелых станков и др.

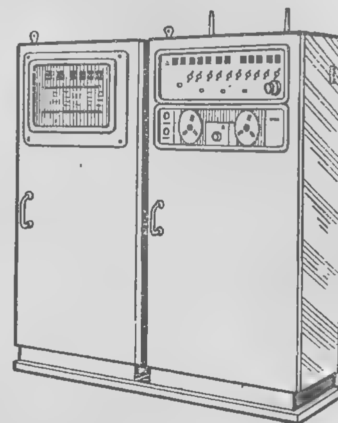


Рис. 15-16. Пульт управления СЧПУ.

Пульты управления контурных систем для токарных, фрезерных и ряда других станков разделяются на две группы: 1) без встроенного интерполятора с декодированной программой на магнитной ленте — например пульт «Контур 4МИ» для станков с шаговыми двигателями ШД-4; 2) со встроенным интерполятором и кодированной программой на перфоленте — например: пульт «Контур 3П» для станков с шаговыми двигателями ШД-4; пульт Н332 для станков со следящим приводом, выполненный на элементах «Урал-10» и интегральных схемах «Логика-2»; пульт Н551 на интегральных схемах (по принципу специализированной вычислительной машины), предназначенный для станков с шаговыми двигателями ШД-5 и др.

15-5. МНОГООПЕРАЦИОННЫЕ СТАНКИ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ РОБОТЫ

В последние годы все большее распространение получают станки с автоматизированной сменой инструмен-

та — многооперационные станки (обрабатывающие центры). Сменой инструмента управляет СЧПУ по соответствующей рабочей программе.

Подобные станки выполняются с револьверными головками либо с инструментальными ма-

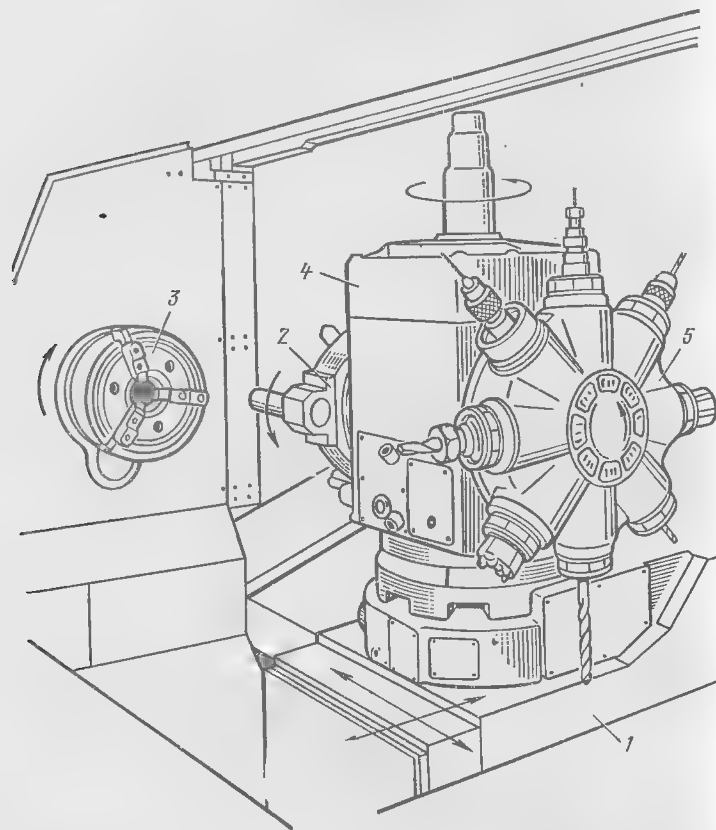


Рис. 15-17. Инструментальная револьверная головка многооперационного станка.

газинами. На рис. 15-17 показан узел многооперационного станка для токарной и фрезерно-сверлильной обработки деталей типа тел вращения. Обрабатываемая деталь закрепляется в шпинделе *3*. Две револьверные головки с инструментами для токарной обработки (головка *2*) и фрезерно-сверлильной обработки (головка *5*)

расположены на шпиндельной бабке *4*, которая может поворачиваться на 360° вокруг вертикальной оси. Бабка *4* установлена на столе *1*, обеспечивающем движение продольной и поперечной подачи.

Станки с инструментальными магазинами оснащаются автооператорами, при помощи которых нужный инст-

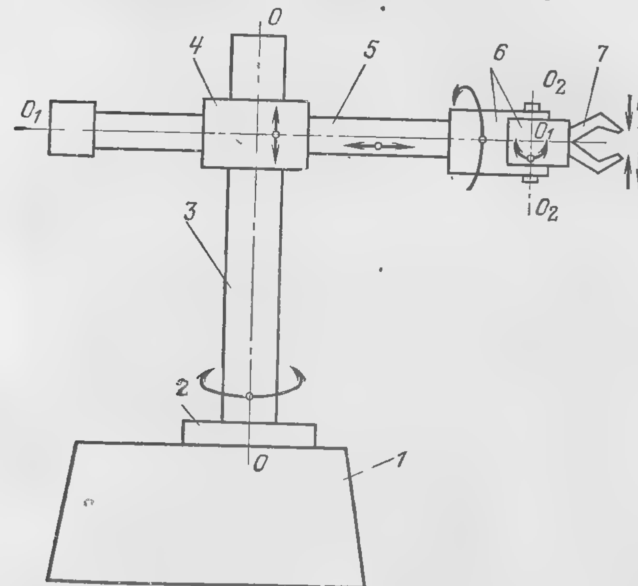


Рис. 15-18. Схема стационарного промышленного робота.

румент извлекается из магазина и устанавливается в рабочее положение в шпинделе станка, а ранее использованный инструмент возвращается на свое место в магазине.

Качественно новым решением в автоматизации процессов металлообработки явилось создание машин нового технологического класса — универсальных автономных манипуляторов с программным управлением — промышленных роботов.

Промышленный робот представляет собой механическую руку, т. е. техническое устройство, предназначенное для автоматического воспроизведения двигательных функций верхней конечности человека. Промышленные роботы могут иметь до десяти степеней свободы и спо-

собны осуществлять большое число операций по захвату, перемещению и установке деталей. Роботы могут быть выполнены как стационарными, так и подвижными. Исполнительным элементом робота является захват. У подвижных роботов в исполнительную часть входит также механизм перемещения робота. Все подвижные элементы робота снабжены отдельными приводами (электрическими, гидравлическими, пневматическими). Управле-

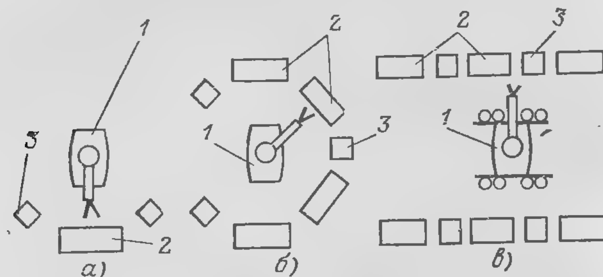


Рис. 15-19. Компоновки участков с роботами.

ние движениями робота осуществляется от системы циклового или числового программного управления.

Применение промышленных роботов позволяет заменить ими производственных рабочих на циклически повторяющихся тяжелых и однообразных операциях, стимулирует переход на прогрессивные методы поточного производства и создает предпосылки для коренного решения проблем автоматизации как отдельных производственных операций, так и производства в целом.

На рис. 15-18 схематически изображен один из вариантов стационарного промышленного робота. На неподвижном основании *1* установлен стол *2* со стойкой *3*. Стол может поворачиваться вокруг оси *0-0*. По стойке перемещается вдоль оси *0-0* каретка *4*, несущая руку робота *5*. В свою очередь, рука может двигаться по каретке вдоль оси 0_1-0_1. Кисть *6* руки с захватом *7* поворачивается относительно самой руки в двух направлениях: вокруг осей 0_1-0_1 и 0_2-0_2. Открытие и закрытие захвата обеспечивается путем перемещения его подвижных губок. Таким образом, не считая перемещения губок захвата, показанный на рисунке робот имеет пять степеней свободы.

На рис. 15-19 показаны возможные компоновки станков *2* с роботом *1* и накопителями *3*. Стационарный робот можно поставить для обслуживания одного (рис. 15-19, *а*) или нескольких станков (рис. 15-19, *б*), подвижной робот может перемещаться вдоль фронта станков (рис. 15-19, *в*). Во всех этих случаях реализуется участок, на котором полностью автоматизированы все основные и вспомогательные операции. Связав подобного рода участки системами транспортировки деталей, можно получить автоматические линии и цеха.

Промышленные роботы применяют также в кузнечно-прессовом производстве, в литейных цехах, в электросварочных, гальванических и окрасочных установках, в сборочных цехах и т. д.

Глава шестнадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫХ МАШИН

16-1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫХ МАШИН

Основной недостаток обработки металлов резанием состоит в том, что значительное количество металла уходит в стружку. При обработке металлов давлением (ковке, горячей и холодной штамповке, прессовании, прокатке, волочении, гибке) снижаются отходы металла, улучшаются механические свойства обрабатываемых деталей, повышается производительность. Обработка металлов и материалов давлением производится как в горячем, так и в холодном состоянии. Особенно экономичен второй способ, поскольку при этом исключаются затраты на предварительный подогрев металла, сокращается время обработки, отсутствуют потери на угар металла.

Все кузнечно-прессовые машины разделяются на несколько основных групп: молоты, прессы, кривошипные машины, кузнечно-штамповочные автоматы для горячей и холодной высадки.

Молоты. Кузнечные молоты предназначены для деформации металла ударами падающих частей. На молотах выполняются все технологические операции свободной ковки (осадка, вытяжка, прошивка, рубка и т. д.),

а также горячей штамповки. Наибольшее распространение получили механические молоты с электрическим приводом, применяемые главным образом в массовом производстве, когда требуется изготовление большого количества мелких несложных деталей.

В механических молотах ударное действие осуществляется с помощью фрикционного или кривошипного механизма, приводимого в движение электродвигателем. Соответственно различают два вида механических молотов: фрикционные и кривошипные.

В промышленности находят применение *фрикционные молоты* с так называемой доской, на конце которой закрепляется ударная баба. Вертикальные возвратно-поступательные движения доске сообщаются фрикционным механизмом, который при включении двигателя молота поднимает ее вверх. При отключении двигателя в верхней точке подъема доска освобождается, и баба подает вниз, нанося удар по заготовке. Такие молоты изготовляются с массой падающих частей 200—3000 кг и широко применяются для горячей штамповки.

В кривошипных молотах между кривошипно-шатунным механизмом электропривода и механизмом молота помещается эластичное устройство в виде рессор, пружин или резиновых буферов. Кривошипные молоты применяются для свободной ковки мелких изделий, когда требуется большое количество легких ударов, следующих непрерывно один за другим. Масса падающих частей таких молотов колеблется от 25 до 250 кг, частота ударов 200—500 в минуту.

Прессы. Отличие прессов от молотов заключается в том, что деформация металла на прессах производится постепенным давлением, а не ударом, поэтому не требуется больших и сложных фундаментов, исключаются сотрясения грунта и зданий. На прессах выполняются операции свободной ковки, горячей и холодной штамповки. Прессы разделяют на два основных вида: гидравлические, в которых используется в качестве рабочей жидкости вода под давлением до 20—30 МПа, а в тяжелых прессах — до 50—60 МПа, и механические с электроприводом.

В механических прессах движение от двигателя к ползуну передается кривошипно-шатунным механизмом, эксцентриками, фрикционной или реечной передачей и т. п. На рис. 16-1 изображена кинематическая схема ковочно-

штамповочного кривошипного пресса. От электродвигателя *1* через клиноременную передачу *2* (ее ведомый шкив *10* является маховиком), шестерни *3*, *4* и дисковую муфту *5* получает вращение кривошипный вал *6*, который при помощи шатуна *7* сообщает ползуну *8* вертикальное перемещение. К ползуну крепится верхний

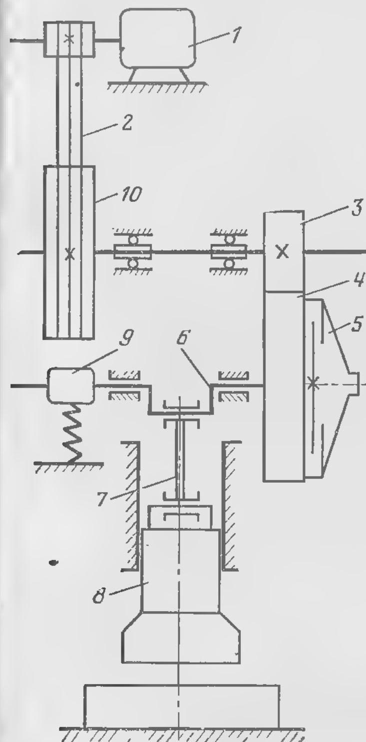


Рис. 16-1. Кинематическая схема механического кривошипного ковочно-штамповочного пресса.

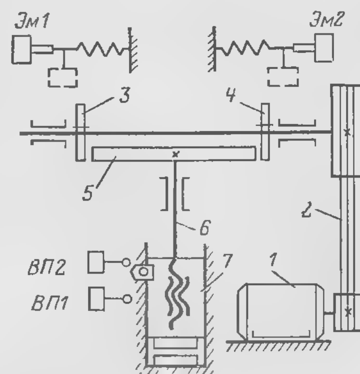


Рис. 16-2. Устройство фрикционного пресса.

штамп, а к столу пресса — нижний штамп. Кривошипный вал приходит в движение только тогда, когда включена фрикционная муфта *5* с пневматическим нажимом. Тормоз *9* служит для остановки кривошипного вала после отключения муфты.

На рис. 16-2 показана упрощенная кинематическая схема фрикционного пресса. Двигатель *1* через клиноременную передачу *2* непрерывно вращает два диска *3* и *4*, которые попеременно прижимаются к маховику *5*, сидящему на вертикальном винте *6*, связанном с ползуном

7. Перемещение дисков производится пневмосистемой, управление которой осуществляется электромагнитами *Эм1* и *Эм2*. При включении электромагнита *Эм1* к маховику прижимается диск *3*, и ползун движется вниз; когда сработает *Эм2*, то диском *4* маховик будет вращаться в обратную сторону, и ползун станет перемещаться вверх.

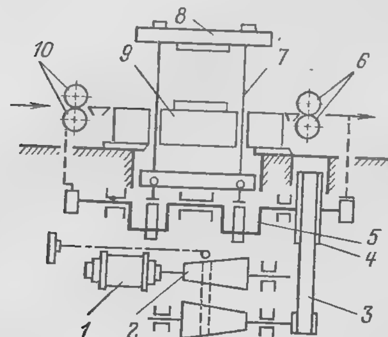


Рис. 16-3. Устройство пресс-автомата с нижним приводом.

Механические прессы — один из самых распространенных и прогрессивных кузнечно-прессовых машин. В настоящее время изготовляются разнообразные кривошипные прессы с усилием 60—80 000 кН и числом ходов ползуна до 90 в минуту, винтовые фрикционные прессы с усилием до 6000 кН и др. На механических прессах выполняется холодная (листовая) и горячая (объемная) штамповка, чеканка, выдавливание и многие другие операции. Штамповка на механических прессах имеет ряд преимуществ по сравнению со штамповкой на молотах: более высокая производительность, большая точность штамповки, меньший удельный расход электроэнергии.

В штамповочных цехах электромашиностроительных заводов для изготовления деталей электрических машин методом холодной штамповки применяются механические кривошипные прессы. В массовом производстве электродвигателей для штамповки листов сердечников статоров и роторов применяются специальные листоштамповочные пресс-автоматы с нижним приводом.

На рис. 16-3 показано устройство такого пресса. От двигателя *1* через вариатор *2* и ременную передачу *3* вращение сообщается маховику *4* и кривошипному валу *5*, расположенному в нижней части пресса. Кривошипы вала через цилиндрические колонки *7* сообщают возвратно-поступательное движение верхней траверсе *8*, на которой крепится верхняя половина штампа. Нижнюю половину устанавливают на столе *9*. Стальная полоса перемещается с помощью связанной с кривошипным валом валковой передачи, состоящей из подающих *10* и приемных *6* валков. Перемещение полосы валками производится при ходе траверсы вверх, а при ходе вниз валки неподвижны. Пресс-автоматы с нижним приводом обладают высокой производительностью, доступным расположением штампов и обеспечивают быструю переналадку для штамповки деталей разных размеров.

16-2. ТИПЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫХ МАШИН

Кузнечные молоты и прессовые машины работают в режиме резкопеременной ударной нагрузки, когда периоды пика момента чередуются с холостым ходом (рис. 16-4, *а*). Это обстоятельство является определяющим фактором для выбора мощности двигателя и типа электропривода.

Главные электроприводы кузнечно-прессовых машин можно разделить на две группы: электроприводы механических кузнечно-прессовых машин, имеющих маховики (кривошипные прессы, ковочные машины и др.), и электроприводы механических кузнечно-прессовых машин без маховиков (реечные прессы, правильные и отрезные машины и др.).

В зависимости от характера обработки, а также материала, величины, формы и температуры заготовки приходится изменять скорость деформации. Для проведения наладочных работ необходимо перемещать рабочий орган вхолостую с малой скоростью. Все это может быть обеспечено изменением скорости главного привода кузнечно-прессовой машины. В настоящее время в приводах таких машин применяются все существующие виды механического и электрического регулирования скорости в диапазоне до 4 : 1, включая коробки скоростей, механические вариаторы, асинхронные двигатели с переключением полюсов и бесступенчатое регулирование посредством изменения угловой скорости двигателей постоянного тока.

Основным типом электропривода для большинства кузнечно-прессовых машин является привод от асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором, преимущественно в закрытом обдуваемом исполнений. В настоящее время для кузнечно-прессовых машин разрабатываются и внедряются различные приводы

переменного тока с плавным регулированием скорости. К ним относятся приводы от трехфазных асинхронных двигателей с частотным и импульсным управлением, т. е. с регулированием угловой скорости двигателей изменением частоты питающего двигатель тока или изменением подводимого к двигателю напряжения.

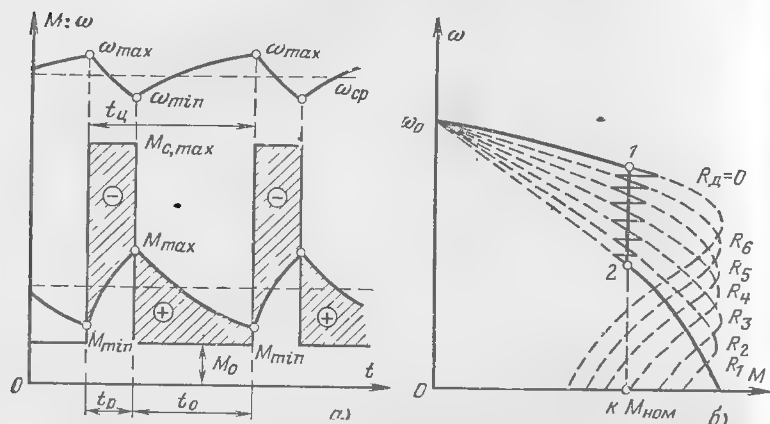


Рис. 16-4. Нагрузочные графики маховикового привода (*а*) и характеристики двигателя с контакторным регулятором скольжения (*б*).

Другим видом плавно регулируемого электропривода переменного тока для кузнечно-прессовых машин является привод с асинхронной электромагнитной муфтой скольжения (ЭМС) в комплекте с нерегулируемым двигателем переменного тока[1].

В настоящее время выпускаются электромагнитные муфты мощностью до 1000 кВт и больше, в том числе муфты, совмещенные с регулятором, с электромагнитным тормозом, с приводным электродвигателем. Созданы образцы прессов с муфтами скольжения на усилия 1000 Н и выше. В вытяжных прессах, например, система привода с электромагнитной муфтой скольжения и электромагнитным тормозом позволяет простым способом — управлением током возбуждения муфты и тормоза — плавно изменять скорость ползуна пресса за один ход в пределах от максимальной до почти нулевой.

[1] Описание устройства ЭМС и механические характеристики привода асинхронного двигателя с ЭМС даны в гл. 6.

Регулируемые приводы постоянного тока применяются в некоторых листоштамповочных прессах и автоматах, станках для накатки шестерен и др. Якорь двигателя в таких приводах удобно питать от силового кремниевого выпрямителя, а угловую скорость — регулировать изменением магнитного потока.

Регулируемый электропривод безусловно необходим для тех кузнечно-прессовых машин, в которых изменение скорости требуется по условиям технологического процесса (глубокая вытяжка, накатка, правка и др.). Рациональный тип регулируемого привода здесь выбирается в результате технико-экономического сравнения возможных вариантов на переменном и постоянном токе.

Электродвигатели кузнечно-прессовых машин работают в продолжительном, повторно-кратковременном и кратковременном режимах. Для приводов безмаховиковых машин выбор мощности двигателей производится методами эквивалентных величин (момента или мощности) по нагрузочным диаграммам. Специфичным оказывается выбор мощности двигателей для механических кузнечно-прессовых машин, у которых характерным режимом является перемежающийся режим *S6* с ударными кратковременными нагрузками (механические прессы, горизонтально-ковочные машины и др.).

Для выравнивания нагрузки, приходящейся на электродвигатель, в системе привода механических кузнечно-прессовых машин искусственно увеличивают момент инерции путем установки маховика, который обычно располагается на быстроходном валу привода. В периоды снижения нагрузки и холостых ходов электродвигатель работает на маховик, в котором запасается кинетическая энергия. В периоды пиков нагрузки угловая скорость двигателя, имеющего смягченную механическую характеристику, несколько снижается и часть нагрузки покрывается за счет энергии маховика (рис. 16-4, *а*). Ударная пиковая нагрузка, вызывая рост момента и тока двигателя, приводит к увеличению потерь в двигателе и сети. Выравнивание графика нагрузки двигателя способствует снижению этих потерь, поскольку средний квадратичный ток двигателя в этом случае меньше среднего квадратичного тока для графика с пиками нагрузки. В результате при наличии маховика двигатель может быть выбран с меньшей (в 6—10 раз) номинальной мощ-

ностью и меньшим перегрузочным моментом, чем в системе привода без маховика.

При определении момента инерции маховика исходят обычно из максимального падения угловой скорости на 15—30% при пике нагрузки. Распределение работы удара нагрузки между двигателем и дополнительными маховыми массами зависит от выбранного наклона механической характеристики, т. е. от того, насколько снижается угловая скорость у двигателя при пике нагрузки (подробнее см. [25]).

В качестве электродвигателей с мягкой механической характеристикой для маховиковых приводов при мощностях более 50 кВт, а также при необходимом скольжении более 12% или тяжелых условиях пуска, применяют асинхронные двигатели с фазным ротором и добавочным сопротивлением в цепи ротора. Однако при постоянно включенном в роторной цепи сопротивлении увеличиваются потери энергии, кроме того, использование инерционных масс и выравнивание графика нагрузки получается неудовлетворительным. Для устранения этих недостатков были созданы маховиковые электроприводы с автоматическими контакторными регуляторами скольжения, представляющими собою набор дополнительных резисторов, включаемых в ротор асинхронного двигателя с помощью контакторов в функции тока статора (или ротора).

Работа контакторного регулятора скольжения иллюстрируется механическими характеристиками асинхронного двигателя (рис. 16-4, *б*). До определенного значения момента нагрузки, равного $kM_{ном}$, где $k>1$, двигатель работает на естественной характеристике. При повышении момента нагрузки сверх указанного значения двигатель будет переходить с одной реостатной характеристики на другую, обеспечивая колебания момента в заданных пределах (близких к $kM_{ном}$). При сбросе нагрузки угловая скорость двигателя будет возрастать по мере выведения сопротивления в роторе.

Исследования электроприводов кузнечно-прессовых машин показали, что у многих прессов двигатель больше загружен при пуске, а не при нормальной работе, которая совершается главным образом за счет маховых масс. Поэтому часто решающим фактором выбора приводных электродвигателей прессов является именно условие пуска, т. е. первоначального разгона маховика,

а не установившийся режим работы. При тяжелых условиях пуска необходимо обеспечить достаточно высокий начальный момент и возможность ускоренного (форсиро-

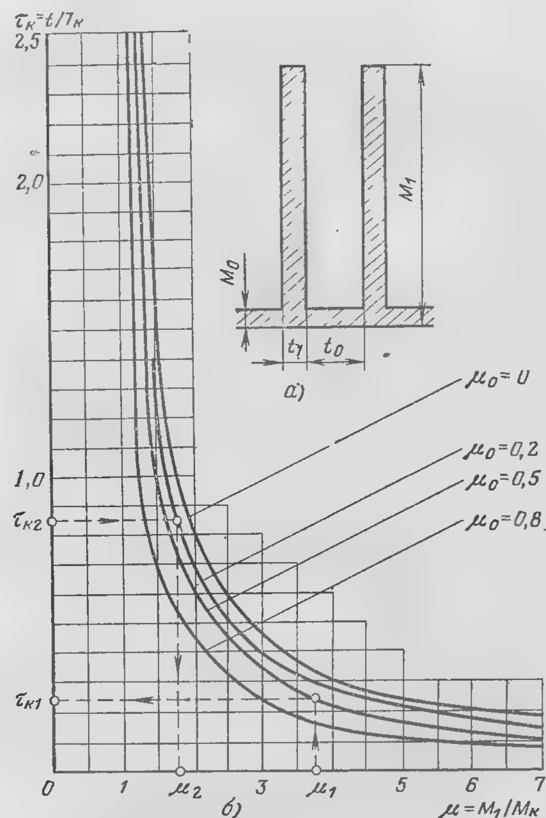


Рис. 16-5. График нагрузки механизма (*а*) и расчетные кривые для проверки двигателей прессовых машин на динамическую устойчивость (*б*).

ванного) пуска электропривода для уменьшения его тепловой перегрузки (подробнее см. [23]).

При наличии графика нагрузки $M_c=f(t)$ механизма, работающего с ударной нагрузкой (рис. 16-5, *а*), и известном значении работы A, совершаемой за один удар (ход), мощность двигателя можно определить по среднему статическому моменту следующим образом.

Подсчитывают максимальный момент (пик нагрузки) на валу двигателя

$$M_1 = A/(\omega_{расч} t_1), \qquad (16.1)$$

где $\omega_{расч}$ — расчетная угловая скорость при ударе, рад/с; t_1 — продолжительность удара, с.

Определяют среднее значение момента, Н·м,

$$M_{ср.расч} = M_1 \left(\frac{M_0}{M_1}\frac{t_0}{t_1} + 1\right) \Big/ \left(\frac{t_0}{t_1} + 1\right), \qquad (16\text{-}2)$$

где M_0 и t_0 — момент и время холостого хода механизма (см. рис. 16-5, *а*).

Подсчитывают среднюю расчетную мощность двигателя, кВт,

$$P_{ср.расч} = M_{ср.расч}\, \omega_{расч}/1000. \qquad (16\text{-}3)$$

Мощность двигателя, кВт, с учетом коэффициента запаса $k_з = 1{,}1 \div 1{,}3$

$$P_{дв.ном} \geqslant k_з P_{ср.расч}. \qquad (16\text{-}4)$$

Далее выбранный двигатель следует проверить по перегрузке

$$M_1 \leqslant 0{,}85 \lambda_м M_{ном}. \qquad (16\text{-}5)$$

Для электродвигателей кузнечно-прессовых машин определяющим фактором их пригодности к работе по заданному графику нагрузки является проверка двигателя на динамическую устойчивость при перегрузке по расчетным кривым (рис. 16-5, *б*). При этом возможны следующие характерные случаи такой проверки, когда заданы номинальные данные устанавливаемого на механизме электродвигателя ($P_{ном}$, $n_{ном}$, $s_{ном}$, $\lambda_м$ и $J_р$):

1. Задан график нагрузки (рис. 16-5, *а*), где M_0 — момент холостого хода; M_1 — момент пиковой нагрузки; J_Σ — суммарный момент инерции двигателя и механизма. Требуется найти допустимую продолжительность пика нагрузки t.

Для этого определяют:

а) номинальный и критический моменты, Н·м,

$$M_{ном} = 9550\,(P_{ном}/n_{ном}) \text{ и } M_к = \lambda_м M_{ном};$$

б) электромеханическую постоянную двигателя на линейном участке характеристики $M = f(\omega)$, с

$$T_{эм} = J_\Sigma n_0 s_{ном} / (9{,}55 \cdot M_{ном});$$

в) величины относительных нарузок, отнесенных к $M_к$,

$$\mu = M_1/M_к \text{ и } \mu_0 = M_0/M_к.$$

По одной из кривых $\tau_к = f(\mu)$ (рис. 16-5, *б*), соответствующей найденному значению μ_0, находят $\tau_к$ — относительное критическое время[1]

$$\tau_к = t/T_к = t/(2\,T_{эм}),$$

где $T_к \approx 2T_{эм}$ — электромеханическая постоянная на криволинейной части рабочего участка механической характеристики двигателя.

Допустимая продолжительность пика нагрузки для заданного двигателя

$$t = 2\tau_к T_{эм}.$$

Для правильно выбранного двигателя должно выполняться условие $t > t_1$, где t_1 — действительная продолжительность пика нагрузки.

2. Заданы величины J_Σ, продолжительность пика нагрузки t_1, а также M_0. Требуется найти допустимую перегрузку двигателя в течение времени t_1.

В этом случае определяем $M_{ном}$, $M_к$, $T_{эм}$, $\mu_0 = M_0/M_к$ и находим $\tau_к = t/2T_{эм}$. Затем по величине $\tau_к$, пользуясь графиками на рис. 16-5, *б*, по кривой для найденного значения μ_0, находим $\mu = M_{1д}/M_к$ (относительный допустимый пик момента). Тогда допустимый момент перегрузки будет равен $M_{1д} = \mu M_к$. Для правильно выбранного двигателя должно выполняться условие $M_{1д} > M_1$, где M_1 — требуемый пиковый момент нагрузки.

3. Задан график нагрузки и продолжительность пика нагрузки t_1. Требуется найти суммарную величину J_Σ, обеспечивающую устойчивость работы привода, кг·м²:

$$J_\Sigma = \frac{1}{2}\,\frac{t}{\tau_к}\,\frac{9{,}55 M_{ном}}{n_0 s_н},$$

где $\tau_к = f(\mu)$ определено по рис. 16-5, *б* для подсчитанных значений μ и μ_0.

[1] На рис. 16-5, *б* пунктирными линиями показано определение $\tau_{к1}$ для $\mu_1 = 3{,}75$ при $\mu_0 = 0{,}5$ и μ_2 для $\tau_{к2} = 0{,}85$ при $\mu_0 = 0{,}2$ для первых двух характерных случаев проверки двигателя пресса на динамическую устойчивость.

Асинхронные короткозамкнутые двигатели для привода кузнечно-прессовых машин выбирают так, чтобы обеспечить наилучшее выравнивание графика нагрузки, наименьшие потери в двигателе, а также наименьший расход электроэнергии за цикл работы. Эти условия обеспечиваются при установке на таких машинах двигателей с номинальным скольжением 10—15%. В соответствии с этим для указанных механизмов электротехническая промышленность выпускает специальные асинхронные двигатели с повышенным скольжением типа 4АС: закрытые обдуваемые, мощностью 1,2—63 кВт с номинальным скольжением 7—15%, для работы в продолжительном и повторно-кратковременном (ПВ=40%) режимах.

Пример 16-1. Определить мощность двигателя для привода пресса, совершающего за один ход работу $A=60$ кДж. Число ходов пресса в минуту равно 20, продолжительность удара $t_1=1$ с, момент холостого хода пресса $M_{с.0}=42$ Н·м; расчетная угловая скорость двигателя $\omega_{расч}=145$ рад/с.

Решение. Продолжительность цикла при 20 ударах в минуту

$$t_ц = 60:20 = 3 \text{ с.}$$

Продолжительность холостого хода

$$t_0 = t_ц - t_1 = 3 - 1 = 2 \text{ с.}$$

Максимальный момент пресса при ударе

$$M_1 = A/(\omega_{расч} t_1) = 60\cdot 10^3/(145\cdot 1) = 414 \text{ Н·м.}$$

Средний момент нагрузки за цикл по уравнению (16-2)

$$M_{с.ср} \approx M_1\left(\frac{M_0}{M_1}\ \frac{t_0}{t_1}+1\right)\Big/\left(\frac{t_0}{t_1}+1\right) =$$

$$= 414\,\frac{(42/414)\,(2/1+1)}{2/1+1} = 166 \text{ Н·м.}$$

Средняя расчетная мощность двигателя

$$P_{дв,ср} = M_{с.ср}\,\omega_{расч}/1000 = 166\cdot 145\cdot 10^{-3} = 24,1 \text{ кВт.}$$

Выбираем по каталогу электродвигатель с повышенным скольжением типа 4АС200М4: $P_{ном}=31,5$ кВт; $n_{ном}=1410$ об/мин; скольжение $s_{ном}=6,0\%$; перегрузочная способность $\lambda_м=2,2$.

Проверяем выбранный двигатель по перегрузочной способности

$$M_к = \lambda_м M_{ном} = 2,2\cdot 31\,500/147 = 471 > M_1 = 414 \text{ Н·м.}$$

16-3. УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ КУЗНЕЧНО-ПРЕССОВЫХ МАШИН

Электроавтоматика кузнечно-прессовых машин до последнего времени развивалась главным образом на основе применения релейно-контактных схем, особенно с управлением в функции пути. Но сейчас начинают внедряться промышленные образцы машин с использованием для управления их работой электромагнитных муфт, магнитных усилителей, индуктивных, полупроводниковых и радиоактивных датчиков, замкнутых систем автоматического управления, в которых все более широкое применение получают бесконтактные устройства дискретного действия — бесконтактные логические элементы, срок службы которых во много раз больше, чем у релейно-контактных.

Характерными особенностями управления кузнечно-прессовыми машинами являются следующие: 1) обеспечение заданного режима движения ползуна (или другого основного рабочего органа), обеспечивающего требуемое качество изделий и производительность машины; 2) осуществление точного взаимодействия ползуна со вспомогательными механизмами (автоматическими подачами, загрузчиками, выталкивателями) и немедленное отключение машины при нарушении указанного взаимодействия, поскольку это может привести к авариям и травматизму. Особое внимание уделяется обеспечению безопасности работы оператора. Например, в схемах управления некоторыми кузнечно-прессовыми машинами при пуске предусматривается обязательное нажатие оператором двух кнопок обеими руками одновременно, с тем чтобы исключить случайное попадание рук в рабочую зону (зону удара или сдавливания). Применяются также фотоэлементы, посредством которых машина отключается, если в ее рабочую зону попадают посторонние предметы или рука оператора.

В качестве примера рассмотрим электрическую схему кривошипного ковочно-штамповочного пресса (рис. 16-6). Управление прессом может производиться как от кнопок, так и от ножной педали. Для выбора режима управления служит универсальный переключатель *УП*, имеющий контакты *УП-1—УП-4*. Предположим, что рукоятка этого переключателя поставлена в левое положение (*кнопки*), т. е. замкнут контакт *УП-1*. Тогда при включении вводного выключателя *ВВ* подается напряжение на главные цепи и цепи управления, включается промежуточное реле *РП2* через замкнутые размыкающие контакты кнопок хода ползуна *КнХ1*, *КнХ2* и промежуточного реле *РП3*. Контакт *РП2* в цепи замыкающих контактов кнопок *КнХ1* и *КнХ2* замыкается; другой

контакт *РП2* в цепи контакта путевого командоаппарата *ВКА1* обеспечивает самопитание реле *РП2*.

При нажатии кнопки *КнП* в зависимости от положения переключателя режима работы пресса *ПР* срабатывает контактор *КЛ1* или *КЛ2* и включает двигатель *Д* (основным направлением вращения *Д* является то, ко-

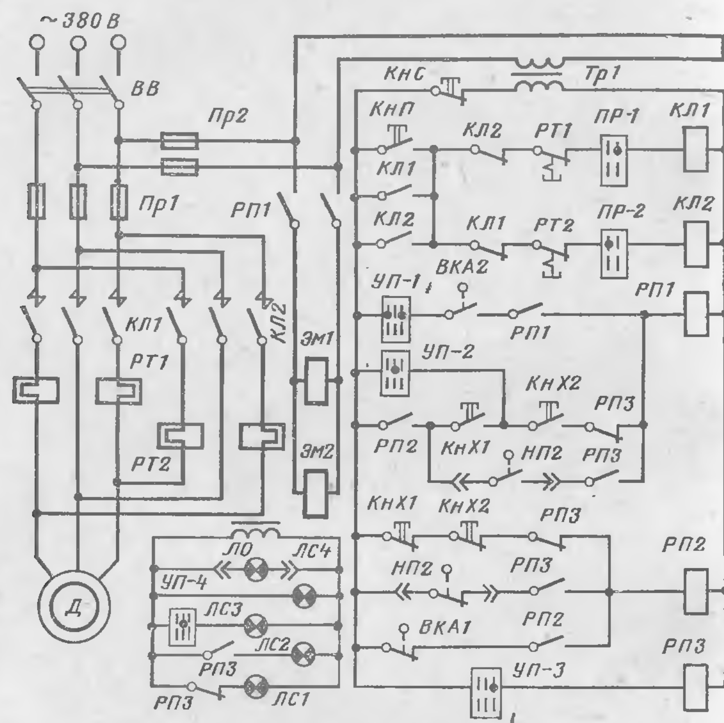


Рис. 16-6. Электрическая схема кривошипного ковочно-штамповочного пресса.

торое получается при включении контактора *КЛ1*; противоположное направление вращения бывает необходимо в некоторых случаях работы пресса). После нажатия кнопок *КнХ1* и *КнХ2* срабатывает промежуточное реле *РП1* и своими замыкающими контактами включает электромагниты *Эм1* и *Эм2*, которые осуществляют оттормаживание коленчатого вала пресса и включение фрикционной муфты с пневматическим управлением. Если кнопки *КнХ1* и *КнХ2* остаются нажатыми, то ползун пресса будет двигаться вниз. Когда он достигнет крайнего нижнего положения, замыкается и остается замкнутым в течение всего хода ползуна вверх контакт командоаппарата *ВКА2*. Таким образом, питание катушки реле *РП1* сохраняется, хотя в нижнем положении ползуна контакт *ВКА1* командоаппарата разомкнулся, в результате чего отключилась цепь самоблокировки реле *РП2*. Движение ползуна вверх происходит уже независимо от того, нажаты кнопки *КнХ1* и *КнХ2* или нет. В крайнем верхнем положении ползуна размыкается контакт *ВКА2* командоаппарата, реле *РП1* отключается, обмотки электромагнитов *Эм1* и *Эм2* обесточиваются и ползун останавливается. При этом контакт *ВКА1* замыкается. Для осуществления следующего хода пресса нужно вновь нажать кнопки *КнХ1* и *КнХ2*.

Если рукоятка универсального переключателя *УП* поставлена в правое положение (*педаль*), то замкнуты контакты *УП-1* и *УП-3*. При этом включено промежуточное реле *РП3*, размыкающие контакты которого выводят из работы цепи кнопок *КнХ1* и *КнХ2*, а замыкающие контакты подключают цепи контактов педали *НП2*. Эти контакты действуют аналогично кнопкам *КнХ1* и *КнХ2*. При нажиме педали также произойдет только один ход пресса, и для совершения нового хода нужно по окончании предыдущего хода отпустить педаль и опять нажать ее.

При установке рукоятки универсального переключателя в среднее положение (*наладка*) контакт *УП-1* разомкнется, а контакт *УП-2* закоротит замыкающие контакты реле *РП2* и кнопки *КнХ1*. Движение ползуна будет происходить только при нажатой кнопке *КнХ2*.

В схеме предусмотрены сигнальные лампы *ЛС1*—*ЛС4*, которые включены на напряжение 12 В. Когда управление прессом производится с помощью кнопок, горит лампа *ЛС1*, включенная последовательно с размыкающим контактом *РП3*. Лампа *ЛС2* включена через замыкающий контакт *РП3* и горит при управлении от педали. При наладочном режиме замкнут контакт *УП-4*, поэтому горит лампа *ЛС3*. О наличии напряжения в сети указывает лампа *ЛС4*. Переносная осветительная лампа *ЛО* присоединяется посредством штепсельной розетки.

На рис. 16-7 представлена принципиальная схема управления фрикционным прессом. Переключатель *ПУ* обеспечивает два режима работы пресса — одиночными и непрерывными ходами. Пусть *ПУ* поставлен в правое положение (*Один*). При нажатии кнопки *КнП* включается контактор *КЛ* и двигатель *Д*

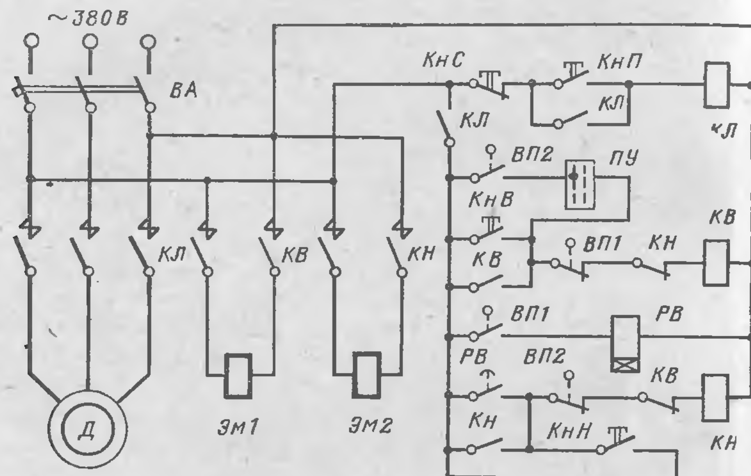


Рис. 16-7. Принципиальная схема управления фрикционным прессом.

начинает вращаться. Если теперь нажать кнопку *КнВ*, то контактор *КВ* включит электромагнит *Эм1* и ползун будет перемещаться вниз (см. рис. 16-2). В конце хода нажимается путевой выключатель *ВП1*, который отключает электромагнит *Эм1*, и диск перестает прижиматься к маховику. Замыкающий контакт *ВП1* включает реле времени *РВ*, уставка которого подбирается такой, чтобы маховик успел остановиться. После срабатывания реле *РВ* получает питание катушка контактора *КН*. При этом включается электромагнит *Эм2*, к маховику прижимается второй диск и начинается подъем ползуна пресса. В конце подъема срабатывает путевой переключатель *ВП2*, теряет питание контактор *КН* и движение ползуна прекращается, электромагнит *Эм2* отключается. При замкнутом контакте *ПУ* пресс будет работать непрерывными ходами. Пуск двигателя *Д* в обоих режимах работы осуществляется без нагрузки, так как при отключении двигателя замыкающий контакт *Кл* размыкает цепи катушек контакторов *КВ* и *КН*.

Глава семнадцатая

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ КОМПРЕССОРОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ

17-1. НАЗНАЧЕНИЕ И УСТРОЙСТВО КОМПРЕССОРОВ И ВЕНТИЛЯТОРОВ

Компрессоры и вентиляторы относятся к группе механизмов, получивших широкое распространение на всех промышленных предприятиях.

Компрессоры применяют для получения сжатого воздуха или другого газа давлением свыше $4\cdot10^5$ Па (4 кгс/см²) с целью использования его энергии в приводах пневматических молотов и прессов, в пневматическом инструменте, в устройствах пневмоавтоматики и т. д. Разновидностью компрессоров являются воздуходувки, служащие для подачи воздуха или газов давлением от $1,1\cdot10^5$ до $4\cdot10^5$ Па.

По принципу действия компрессоры делятся на центробежные и поршневые. Центробежные компрессоры по конструкции подразделяют на турбинные и ротационные. В турбинном компрессоре (рис. 17-1, *а*) ротор *1* с лопастями при вращении захватывает газ из впускного трубопровода *2* и выбрасывает его в выпускной трубопровод *3*. Увеличение давления происходит за счет повышения скорости движения частиц газа и его сжатия между лопастями и корпусом компрессора при эксцентричном расположении ротора.

В ротационном компрессоре (рис. 17-1, *б*) увеличение давления осуществляется путем сжатия газа в камерах, образуемых с помощью пластин *1*, которые перемещаются под действием центробежных сил в направляющих ротора *2* при его вращении и прижимаются к стенкам корпуса. Впускной вентиль *6* и выпускной вентиль *3* во время работы компрессора открыты. Для обеспечения работы компрессора при отсутствии потребления сжатого газа служит обходной трубопровод *4* с вентилем *5*.